

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
FACULTAD DE VETERINARIA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y ECONOMIA AGRARIA**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN AVANCES EN CIENCIAS
AGRARIAS Y DEL MEDIO NATURAL**

**Evaluación de alternativas al uso del polietileno como cubierta del suelo
para el manejo de malas hierbas y otros aspectos agronómicos en el cultivo
del tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill.) en España y Venezuela**

TESIS DOCTORAL

ALVARO LUCIANO ANZALONE GRACI

ZARAGOZA, MAYO 2008

A May Ling y Diego,
las luces que guían mis pasos

AGRADECIMIENTOS

Se expresa el agradecimiento personal por la colaboración prestada en la realización de este trabajo de grado a los directores del mismo, el Dr. Joaquín Aibar y el Dr. Carlos Zaragoza, quiénes con paciencia y dedicación lograron guiar el trabajo hasta alcanzar los objetivos planteados. También se agradece la colaboración de la Dra. Alicia Cirujeda, colega y amiga que estuvo siempre presta para contribuir en esta investigación y a Fernando Arrieta y María León, por su valiosa ayuda y actitud siempre alegre en los trabajos de campo de esta tesis. Por último, se agradece de manera personal a los profesores Hugo Ramírez y José Gregorio Lugo por la colaboración prestada en los ensayos en Venezuela.

Otros colaboradores fueron el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” (UCLA), el grupo consolidado de investigación PROVESOS (Producción Vegetal Sostenible) y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria de España a través del proyecto RTA2005-00189-C05-01, que financiaron este trabajo. También colaboraron el Laboratorio de Suelos del Decanato de Agronomía de la UCLA (Cabudare, Venezuela), donde se realizaron las evaluaciones de suelo en el ensayo llevado a cabo en Venezuela; el Laboratorio Agroalimentario del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (Zaragoza, España), donde se analizaron las muestras de suelo y algunos materiales de cobertura; el Centro Nacional de Tecnología y Seguridad Alimentaria de San Adrián (Navarra, España) donde se analizó la calidad de los frutos obtenidos en los ensayos y el Centro de Protección Vegetal y el Centro de Técnicas Agrarias, ambos adscritos al Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón, que apoyaron este proyecto mediante el asesoramiento para el manejo de plagas y con el préstamo de maquinaria, implementos y personal para realizar distintas labores de campo.

Para finalizar es importante destacar la colaboración prestada por las empresas Novamont y SAICA (Sociedad Anónima Industrias Celulosa Aragonesas), quiénes donaron parte del material utilizado en los ensayos y facilitaron la información técnica requerida para su correcto uso en campo. En Venezuela la empresa “Agropecuaria El Tunal” (Quíbor, Estado Lara), facilitó el espacio para la realización del ensayo en dicha localidad; además colaboró con personal, maquinaria e insumos para llevar a cabo el mismo y el productor Silverio Corpas colaboró con la producción de las plántulas de tomate utilizadas en los ensayos.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xvi
1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2.- OBJETIVOS	8
2.1.- OBJETIVO GENERAL	8
2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3.- MARCO REFERENCIAL	9
3.1.- MARCO TEÓRICO	9
3.1.1.- El uso de cubiertas para el control de malas hierbas	9
3.1.2.- Los restos vegetales como cubiertas de suelo	11
3.1.3.- Efectos de los restos vegetales como cubiertas de suelo sobre las malas hierbas	13
3.1.3.1.- Efectos directos	13
a.- Efectos físicos	13
b.- Supresión de la luz	14
c.- Efectos químicos: Alelopatía	15
3.1.3.2.- Efectos indirectos	16
a.- Modificación de las características físicas y químicas del suelo	17
b.- Efectos sobre la microfauna asociada al agroecosistema	20
3.1.4.- Ventajas y desventajas del uso de restos vegetales como cubiertas de suelo para el control de malas hierbas	21
3.2.- ANTECEDENTES	24
3.2.1.- El uso de los restos de cultivos de cereales como cubierta de suelo	24
3.2.1.1.- La paja de arroz y su uso como cubierta de suelo	25
3.2.1.2.- Restos de cosecha de maíz	30
3.2.2.- Las malas hierbas como cubiertas orgánicas	31
3.2.3.- Otros materiales orgánicos utilizados como cubiertas de suelo	32
3.2.4.- <i>Artemisia absinthium</i> como cubierta de suelo	33
3.2.5.- Otras cubiertas de suelo: polietileno, plásticos biodegradables y papel	35
3.2.5.1.- Polietileno	35
3.2.5.2.- Plásticos biodegradables	37
3.2.5.3.- El papel como cubierta de suelo	40
4.- MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1.- ÁMBITO DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	44

4.2.- FUENTES DE FINANCIACIÓN	44
4.3.- METODOLOGÍA	45
4.3.1.- Caracterización de las cubiertas de suelo evaluadas	45
4.3.1.1.- Determinación de la capacidad de recubrimiento del suelo por los restos vegetales utilizados como cubiertas	45
4.3.1.2.- Caracterización química de los restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo	47
4.3.1.3.- Caracterización física del papel, plástico biodegradable y polietileno negro utilizados como cubiertas de suelo	47
4.3.1.4.- Caracterización química del papel, plástico biodegradable y polietileno negro utilizados como cubiertas de suelo	48
4.3.2.- Valoración del potencial alelopático de los restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre el cultivo de tomate.	48
4.3.2.1.- Evaluación del potencial alelopático de extractos acuosos de restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre plantas de tomate	49
a.- Ensayo “a”	50
b.- Ensayo “b”	51
c.- Ensayo “c”	52
4.3.2.2.- Evaluación del efecto de las cubiertas de suelo ensayadas incorporadas o no al suelo sobre el desarrollo del tomate	52
a.- Ensayo “d”	53
b.- Ensayo “e”	54
4.3.3.- Valoración del uso de cubiertas para el control de malas hierbas en el cultivo de tomate bajo condiciones controladas y de campo	55
4.3.3.1.- Evaluación de la capacidad de control de malas hierbas de restos vegetales utilizados como cubierta de suelo en cámara de cultivo	55
4.3.3.2.- Ensayo general de campo	56
a.- Diseño del experimento	56
b.- Tratamientos aplicados	58
c.- Condiciones de clima y suelos	60
d.- Manejo del cultivo	61
• Trasplante	62
• Riego	62
• Labores fitosanitarias	63
• Fertilización	65
• Cosecha	65
e.- Variables evaluadas	66
• Variables asociadas al impacto de las cubiertas evaluadas sobre las malas hierbas	66

• Variables de desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate	67
• Variables del manejo del cultivo asociadas al uso de las cubiertas evaluadas	68
Gasto de agua	68
Impacto sobre algunas características del suelo	69
4.3.4.- Valoración de algunos aspectos económicos de la aplicación de la técnica para cada uno de los materiales ensayados	69
4.3.5.- Análisis estadísticos	69
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
5.1.- CARACTERIZACIÓN DE LAS CUBIERTAS DE SUELO EVALUADAS	70
5.1.1.- Capacidad de recubrimiento del suelo por los restos vegetales utilizados como cubiertas	70
5.1.2.- Caracterización química de los restos vegetales utilizados como cubiertas	73
5.1.3.- Caracterización física del papel, plástico biodegradable y polietileno negro utilizados como cubiertas	75
5.1.3.1.- Papel	75
5.1.3.2.- Plástico biodegradable	76
5.1.3.3.- Polietileno	76
5.1.4.- Caracterización química del papel, plástico biodegradable y polietileno negro utilizados como cubiertas	77
5.2.- VALORACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LOS RESTOS VEGETALES UTILIZADOS COMO CUBIERTAS DE SUELO SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE	80
5.2.1.- Evaluación del potencial alelopático de extractos acuosos de restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre plantas de tomate	80
5.2.1.1.- Características de los extractos acuosos obtenidos	80
5.2.1.2.- Ensayo “a”	81
5.2.1.3.- Ensayo “b”	83
5.2.1.4.- Ensayo “c”	85
5.2.2.- Evaluación del efecto de las cubiertas ensayadas incorporadas o no al suelo sobre el desarrollo del tomate	86
5.2.2.1.- Ensayo “d”	86
5.2.2.2.- Ensayo “e”	87
5.3.- VALORACIÓN DEL USO DE CUBIERTAS DE SUELO PARA EL CONTROL DE MALAS HIERBAS EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES CONTROLADAS Y DE CAMPO	88
5.3.1.- Evaluación de la capacidad de control de malas hierbas de restos vegetales utilizados como cubierta de suelo en cámara de cultivo	88
5.3.2.- Ensayo general de campo	90

5.3.2.1.- Impacto del uso de las cubiertas evaluadas sobre las malas hierbas	90
a.- Estudio fitosociológico	90
b.- Cobertura del suelo por malas hierbas	98
c.- Biomasa seca de malas hierbas	104
5.3.2.2.- Valoración del efecto de las cubiertas de suelo evaluadas sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate	107
a.- Desarrollo del cultivo de tomate	107
b.- Rendimiento del cultivo de tomate	110
c.- Calidad del fruto	118
5.3.2.3.- Impacto de la implementación de la técnica de cubiertas sobre el manejo del cultivo de tomate	119
a.- Gasto de agua	119
b.- Características químicas del suelo	121
c.- Temperatura del suelo	125
5.4.- VALORACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE LAS CUBIERTAS DE SUELO ENSAYADAS	128
6.- CONCLUSIONES	133
7.- REFERENCIAS	137
ANEXOS	149-153

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Características físico-químicas del suelo donde se instaló el ensayo de campo en Zaragoza	61
2	Características físico-químicas del suelo donde se instaló el ensayo de campo en Quíbor	61
3	Requerimientos nutricionales (Nitrógeno-N, Fósforo-P ₂ O ₅ y Potasio-K ₂ O) del cultivo tomate, la disponibilidad por parte del suelo (0-20 cm) y su necesidad de fertilizantes en kg.ha ⁻¹ para la localidad de Quíbor	65
4	Expresiones matemáticas utilizadas para el cálculo de los parámetros poblacionales de malas hierbas en el ensayo de campo	67
5	Valores para algunos de los componentes de las cubiertas de restos vegetales utilizadas en los ensayos	73
6	Aportes de nutrientes al suelo de las cubiertas de restos vegetales utilizadas en los ensayos	75
7	Valores de contenido de algunos metales en el papel Saikraft®, plástico Mater-Bi® y polietileno negro utilizados como cubiertas de suelo	77
8	Estimación de las cantidades de zinc (Zn), cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobre (Cu) aportados al suelo con la utilización de las diferentes cubiertas no orgánicas evaluadas	78
9	Límites de concentración de metales pesados permitidos en suelo de acuerdo al pH del mismo	79
10	Aportes estimados en la concentración de contaminantes al suelo por las cubiertas de origen no orgánico evaluadas y límites máximos permitidos	80
11	Valores promedios de potencial osmótico, pH y concentración de sales para los extractos acuosos de los restos vegetales evaluados como cubiertas	81
12	Resumen de los valores de P del análisis de varianza aplicado a los resultados de las variables evaluados en el ensayo "a"	82
13	Valores medios de concentración de clorofila, altura de planta, número de ramas por planta, número de flores abiertas por planta y peso fresco por planta obtenidos en el ensayo "a"	83
14	Resumen del análisis de los resultados obtenidos en el ensayo "b" para las cubiertas paja de arroz, paja de cebada y restos de maíz	84
15	Separación de medias en la variable peso fresco para plantas tratadas con diferentes concentraciones del extracto acuoso de <i>Artemisia absinthium</i> en el ensayo "b"	84
16	Separación de medias para las variables peso fresco y peso seco de plantas de tomate creciendo bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos de <i>Artemisia absinthium</i> en el ensayo "c"	85

17	Resumen de los resultados del análisis de varianza para la variable peso seco de plantas aplicado a los tipos de cubierta en el ensayo “d”	87
18	Resumen de los valores promedios obtenidos en las variables evaluadas en el ensayo “e”	87
19	Malas hierbas presentes en el ensayo de Zaragoza y sus valores de índice de valor de importancia (IVI)	91
20	Malas hierbas presentes en el ensayo de Quíbor y sus valores de índice de valor de importancia (IVI)	92
21	Valores promedios del IVI para las especies de mayor importancia de acuerdo al tratamiento aplicado para cada año de ensayo en Zaragoza	93
22	Valores promedios del IVI para las especies de mayor importancia de acuerdo al tratamiento aplicado en el ensayo de Quíbor	98
23	Separación de medias para la cobertura del suelo por malas hierbas (%) por año de ensayo en Zaragoza	101
24	Separación de medias para la cobertura del suelo (%) por malas hierbas en Quíbor	103
25	Separación de medias para el peso de la biomasa seca de malas hierbas a 63 días después de la aplicación de los tratamientos en Zaragoza	104
26	Separación de medias de la biomasa seca de malas hierbas a los 63 ddt para tratamientos y años de ensayo en Zaragoza	106
27	Valores de P para la fuente de variación “tratamiento” y CV obtenidos en el análisis de varianza para las variables de desarrollo del cultivo en los tres años de ensayo en Zaragoza	108
28	Separación de medias de la altura y biomasa seca de planta de tomate para el ensayo del año 2005 en Zaragoza a los 35 días después de la aplicación de los tratamientos	108
29	Separación de medias para el número de flores, número de frutos, peso de frutos, altura y biomasa seca por planta de tomate para el ensayo del año 2006 en Zaragoza a 35 días después de la aplicación de los tratamientos	109
30	Valores de P para la fuente de variación “tratamiento” y CV obtenidos en el análisis de varianza para las variables de desarrollo del cultivo en el ensayo de Quíbor	110
31	Separación de medias para el número de frutos, peso de frutos y biomasa seca de planta de tomate para el ensayo de Quíbor a los 35 días después de la aplicación de los tratamientos	110
32	Valores de P para la fuente de variación “tratamiento” y CV obtenidos en el análisis de varianza para las variables de rendimiento del cultivo en los tres años de ensayo en Zaragoza	111
33	Separación de medias para las variables de rendimiento del cultivo por año de ensayo en Zaragoza a 110 después del trasplante	111

34	Separación de medias del rendimiento para tratamientos y años de ensayo en Zaragoza	113
35	Producción estimada de tomate por hectárea para cada tratamiento basada en los resultados de los tres años de ensayo en Zaragoza	114
36	Valores de las variables de rendimiento del cultivo con separación de medias (LSD $\alpha=0,05$) y parámetros estadísticos del análisis de varianza en Quíbor	117
37	Producción estimada de tomate por hectárea para cada tratamiento en base a los resultados en el ensayo de Quíbor	118
38	Valores de los parámetros de la calidad de frutos para los diferentes tratamientos aplicados en el ensayo de Zaragoza. Año 2005	119
39	Gasto de agua promedio para los diferentes grupos de cubiertas aplicadas en Zaragoza	120
40	Resumen de los resultados obtenidos en el análisis de varianza aplicado sobre los valores de conductividad eléctrica (CE), pH, materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg) del suelo durante los tres años de ensayo en Zaragoza	121
41	Separación de medias entre años de ensayo para la conductividad eléctrica y los niveles de fósforo en el suelo en Zaragoza	122
42	Resultados del análisis de varianza y separación de medias para la relación de la cantidad de materia orgánica del suelo entre el inicio y el final del ensayo por tratamientos en Zaragoza	123
43	Valores medios de hierro, de P para la prueba de t entre las concentraciones de hierro, cobre, manganeso y zinc en el suelo de inicio y después de dos ciclos de aplicación de cubiertas en Zaragoza	124
44	Resultados de temperatura media, mínima media, máxima media, amplitud térmica y valor máximo de temperatura en el suelo durante los ensayos en Zaragoza	126
45	Medias de temperatura del suelo durante tres años de ensayos en Zaragoza	126
46	Costos de las cubiertas utilizadas en los ensayos de Zaragoza	129
47	Resumen de los costos para las diferentes cubiertas y métodos de control de malas hierbas aplicados en Zaragoza	130
48	Cálculo del beneficio económico promedio para cada tratamiento evaluado en Zaragoza	130

INDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Condición en la que queda el campo después de la cosecha mecanizada de tomate para industria con cubierta de suelo de polietileno negro no degradable	4
2	Proceso de determinación de la capacidad de recubrimiento del suelo por los restos vegetales evaluados como cubiertas de suelo	47
3	Aspecto del extracto acuoso obtenido de la paja de cebada en diferentes concentraciones	50
4	Vista general del ensayo “a” para la evaluación del potencial alelopático de extractos acuosos de restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre tomate	51
5	Vista general del ensayo “b” para la evaluación del potencial alelopático de extractos acuosos de restos vegetales de cosecha utilizados como cubiertas de suelo sobre tomate	52
6	Vista general de los tratamientos aplicados en el ensayo “d” para la evaluación del efecto de las cubiertas incorporadas o no al suelo sobre el desarrollo del tomate.	53
7	Vista general de los tratamientos aplicados en el ensayo “e” para la evaluación del efecto de las cubiertas incorporadas o no al suelo sobre el desarrollo del tomate.	54
8	Vista general del ensayo para la evaluación de la capacidad de control de malas hierbas de restos vegetales utilizados como cubierta de suelo en cámara de cultivo	56
9	Vista general del ensayo instalado en Zaragoza	57
10	Vista general del ensayo instalado en Quíbor en una fase inicial de desarrollo del cultivo	58
11	Imagen del ensayo en la localidad de Quíbor donde es posible apreciar los cultivos asociados y trampas utilizados para el manejo biológico de plagas	64
12	Colocación del marco durante el proceso de toma de muestras de malas hierbas	67
13	Relación dosis/porcentaje de cobertura para los diferentes restos vegetales evaluados como cubiertas de suelo	70
14	Imágenes digitales del porcentaje de cobertura alcanzado por diferentes restos vegetales ensayados como cubiertas de suelo en diferentes dosis	71
15	Comparación del porcentaje del número de individuos de malas hierbas con respecto al testigo (sin cubierta) entre las diferentes cubiertas en los ensayos realizados en cámara de cultivo	89

16	Porcentaje de cobertura del suelo por malas hierbas para el ensayo de Zaragoza. Año 2005	99
17	Porcentaje de cobertura del suelo por malas hierbas para el ensayo de Zaragoza. Año 2006	99
18	Porcentaje de cobertura del suelo por malas hierbas para el ensayo de Zaragoza. Año 2007	100
19	Promedio de cobertura del suelo por malas hierbas para los tres años de ensayo en Zaragoza	102
20	Porcentaje de cobertura del suelo por malas hierbas para el ensayo de Quíbor	103
21	Biomasa seca de las malas hierbas después de 63 días de aplicados los tratamientos en Zaragoza	105
22	Relación entre la biomasa seca de malas hierbas y la producción total del cultivo de tomate por planta en Zaragoza	115
23	Regresión lineal entre la biomasa seca de malas hierbas y la producción total del cultivo de tomate por planta en Zaragoza	116

INDICE DE ANEXOS

Anexo		Pág.
1	Esquema general del ensayo de campo en Zaragoza	149
2	Esquema general del ensayo de campo en Quíbor	150
3	Datos climáticos para los períodos de ensayo en Zaragoza	151
4	Datos climáticos para el período de ensayo en Quíbor	152
5	Esquema general del sistema de riego utilizado en Zaragoza	153

Evaluación de alternativas al uso del polietileno como cubierta del suelo para el manejo de malas hierbas y otros aspectos agronómicos en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en España y Venezuela

RESUMEN

Se llevaron a cabo ensayos durante tres años en Zaragoza (España) y Quíbor (Venezuela) con el objetivo de evaluar el potencial uso de diferentes restos vegetales, plástico biodegradable y papel como cubiertas de suelo para el control de malas hierbas como alternativa al uso de polietileno no degradable, utilizando al tomate como cultivo modelo. Las cubiertas evaluadas en Zaragoza fueron paja de arroz, paja de cebada, restos de cosecha de maíz, restos frescos *Artemisia absinthium*, plástico biodegradable, papel y polietileno negro, mientras en Quíbor se evaluaron la paja de arroz, restos de cosecha de maíz, serrín de diferentes maderas, papel y polietileno gris-negro. En ambas localidades se incluyeron los tratamientos de desherbado manual, herbicida y testigo sin desherbar. Se determinaron las características físico-químicas más importantes de las cubiertas evaluadas, así como el potencial efecto alelopático de los restos vegetales sobre el cultivo. También se determinó el efecto de las cubiertas sobre la flora arvense y el desarrollo y rendimiento del cultivo; a su vez se evaluó el efecto de los tratamientos sobre algunas características químicas del suelo, la temperatura del mismo, el gasto de agua durante el ciclo de producción del tomate y algunos aspectos económicos de la aplicación de las cubiertas. Como resultados se obtuvo que una dosis de 1 kg.m^{-2} de restos vegetales recubrió apropiadamente el suelo. No se evidenció efecto alelopático de ninguna de éstas cubiertas sobre el cultivo. Los tratamientos sin control de malezas obtuvieron una producción entre 68% y 71% menor que aquellos donde se aplicó algún tipo de control. Las cubiertas modificaron de forma diferencial la flora arvense y el mejor control de la cobertura del suelo por malezas fue logrado por el papel (93%), el polietileno (78%), control manual (74%) y plástico biodegradable (62%), con similares resultados para la biomasa seca de malas hierbas. Se encontró una alta variación entre años para las variables de desarrollo del cultivo; sin embargo, los tratamientos correspondientes a papel, polietileno y plástico biodegradable obtuvieron mayores valores para estas variables en alguno de los años de ensayo. En ambas localidades el polietileno logró los mejores rendimientos del cultivo, seguido del papel y el plástico biodegradable. Las cubiertas con restos vegetales obtuvieron niveles de rendimientos medios, similares a los del herbicida, con excepción de la *A. absinthium*, que obtuvo los niveles más bajos de producción, mayores sólo que los del testigo sin desherbar. En ningún caso se

registraron diferencias en los parámetros de calidad del fruto entre los diferentes tratamientos aplicados. Los materiales evaluados presentaron niveles de contaminantes aceptables que no se acumularon en el suelo y el aporte de nutrientes al suelo fue de medio a bajo, aunque los restos vegetales lograron aumentar en una media de 30% la materia orgánica del suelo al cabo de tres años. Se observaron diferencias en la temperatura del suelo de acuerdo a la cubierta evaluada, donde las menores temperaturas (22 °C) se registraron en las cubiertas de restos vegetales y el papel y las mayores en los plásticos y el suelo desnudo tratado con herbicida (23-25 °C). El estudio económico indica que los mayores beneficios económicos se obtienen con el uso del polietileno, mientras que las cubiertas de restos vegetales bajo las condiciones ensayadas no generaron beneficios. Con algunas mejoras agronómicas y económicas la técnica de cubiertas de suelo con restos vegetales y papel pueden constituirse en una alternativa viable al uso del polietileno y ser de gran utilidad para la producción ecológica.

Palabras claves: acolchado, malezas, papel, plástico, biodegradable, arroz, maíz, cebada, *Artemisia absinthium*

**Evaluation of alternatives to use of polyethylene mulch for weed
management and other agronomic aspects in tomato crop
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Spain and Venezuela**

ABSTRACT

With the objective of evaluating the potential use of different vegetal mulch, biodegradable plastic and paper as mulch for the weed control as alternative to polyethylene using tomato as crop model, three years of testing in Zaragoza (Spain) and Quíbor (Venezuela) were conducted. The different mulch evaluated in Zaragoza were rice straw, barley straw, rest of maize harvest, fresh rest of *Artemisia absinthium*, biodegradable plastic, paper and black polyethylene, while in Quíbor were evaluated the rice straw, rest of maize harvest, sawdust of different wood, paper and gray-black polyethylene. In both localities the treatments of hand hoeing, chemical control with herbicide and control without weeding were included. Some physical and chemical characteristics of the different mulch and the potential allelopathic effect of vegetal mulch on the crop were evaluated. Also the effect of the different mulch on the weed flora, the development and yield of crop, changes chemical characteristics and temperature of soil, the water consumption during the productive cycle of tomato and some economic aspects of the application of the covers were evaluated. The result shows that a dose of 1 kg.m⁻² of vegetal mulch covered the soil appropriately. Allelopathic effect of any of the evaluated mulch was not observed on the crop. The treatments without control of weeds obtained a production between 68% and 71% less than those where some type of control was applied. The mulch modified in differential form the weed flora, and the best control of the cover of soil by weeds was obtained by the paper mulch (93%), polyethylene (78%), hand hoeing (74%) and biodegradable plastic (62%), with similar results for the dry biomass of weeds. A high variation was found between years for the variables of development of crop; nevertheless, the treatments corresponding to paper mulch, polyethylene and biodegradable plastic achieved highest values for these variables in some of the years of trials. In both localities polyethylene mulch obtained the best yields of crop, followed by the paper mulch and the biodegradable plastic. The covers with vegetal mulch obtained medium levels of yields, similar to herbicide, except *A. absinthium*, that obtained the lowest levels of yield, over only those without weeding. There were no differences in the parameters of quality of the fruit between the different treatments applied. The evaluated covers contained acceptable levels of polluting agents that were not

accumulated in the soil and the contribution of nutrients to the soil went from medium to low, although the vegetal mulch increased in 30% the organic matter of the soil after three years. Differences in the temperature of soil according to the evaluated covers were observed, where the lowest temperatures (22 °C) was registered in the covers of vegetal mulch and paper, and the highest in plastics mulch and the herbicide treatment (23-25 °C). The economic study indicates that the best economic benefits are obtained with the use of polyethylene. The covers of vegetal mulch under the tried conditions did not generate benefits. With agronomic and economic improvements the technique of covers of soil with vegetal mulch and paper can be an alternative to the use of polyethylene and a useful tool for the ecological production.

Key words: paper, plastic, biodegradable, straw, rice, maize, barley, *Artemisia absinthium*

1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción hortícola en el mundo posee una significativa importancia a pesar de que el área destinada a ella es relativamente pequeña al ser comparada con otros cultivos. El alto valor de la cosecha y la relativa alta necesidad de mano de obra asociada a esta actividad refuerzan la importancia de las hortalizas dentro del panorama agrícola de muchos países, entre los que no son excepciones Venezuela y España. Por ejemplo, en España la superficie de cereales es de 6,6 millones de hectáreas y la de hortalizas de 407.000 ha; sin embargo, el valor de las cosechas de cereales es de 2.350 millones euros y el de las hortalizas de 6.800 millones de euros (MAPA, 2007).

Desde la aparición de los herbicidas en los años '50 el uso de los mismos fue desplazando poco a poco otras técnicas culturales o físicas empleadas para el control de las malas hierbas. El consumo mundial de herbicidas en el año 2001 fue de 203 toneladas siendo el grupo de fitosanitarios más consumido, superior al consumo de insecticidas (96 t) y al de fungicidas+bactericidas (188 t) (FAO, 2004). Si bien en cultivos extensivos son ampliamente utilizados, en la actualidad el uso de herbicidas en cultivos hortícolas es más limitado debido a diferentes razones. Existe una oferta limitada de herbicidas en los cultivos hortícolas en comparación con los cultivos extensivos, por la menor superficie que ocupan (Zaragoza, 2003). Al ser pocas las hectáreas cultivadas, se trata de un mercado poco atractivo para las casas productoras y comercializadoras de herbicidas. Un resultado de ello es que los horticultores a menudo emplean herbicidas poco selectivos para su cultivo y frecuentemente tienen problemas de fitotoxicidad. También los ciclos cortos y la intensidad en las rotaciones favorecen que residuos de herbicidas aplicados en un cultivo sigan activos en el siguiente, sobre el que pueden producir daños.

Muchas de las áreas de producción hortícola están cercanas a lugares con la capa freática muy superficial, a llanuras fluviales y a ríos, por lo que se agrava la preocupación medioambiental por el uso de herbicidas en estos cultivos (Tei *et al.*, 2002; Zaragoza, 2005). Por otra parte, en diferentes cultivos hortícolas se consume el fruto o las hojas en forma directa, es decir, sin ningún tipo de procesamiento, lo que origina una presión por parte de los consumidores, que no desean encontrar residuos de fitosanitarios en los productos. Estos aspectos, junto a otros de tipo social (reducción de la población rural, sensibilidad medioambiental, alarmismo de los medios de comunicación, etc.) crean reticencia o incluso temor al uso de herbicidas y otros plaguicidas en cultivos hortícolas, aumentando el interés general por los métodos

no químicos para el control de plagas, en especial insectos y malas hierbas. Así, un gran número de productores de hortalizas muestran un creciente interés en combinar métodos químicos de control de malezas con otros métodos para minimizar la problemática generada por el uso de herbicidas: fitotoxicidad, resistencias, contaminación, etc. (Zaragoza, 2005).

El uso de cubiertas de diferentes tipos colocadas sobre el suelo para el control de malas hierbas es una técnica de manejo para la reducción del impacto de flora arvense en los cultivos hortícolas. Esta técnica ha demostrado ser eficiente, por lo que es una opción muy utilizada frente al uso de herbicidas. Una de las alternativas para cubrir el suelo son las cubiertas plásticas con polietileno negro. El uso de acolchado de polietileno conlleva una serie de ventajas técnico-ambientales, pero como toda técnica no escapa de poseer desventajas, como son el precio, los costos de manejo y la dificultad de recoger completamente los restos del plástico después la cosecha. Otro inconveniente del uso de plástico de polietileno negro es que en años calurosos o en zonas muy cálidas puede perjudicar a los cultivos debido al excesivo calentamiento del suelo (Radics y Székelyne, 2002; Miles *et al.*, 2003; Pardo *et al.*, 2005).

Probablemente el problema de generación de desechos sea uno de los mayores inconvenientes del uso de cubiertas plásticas no degradables para el control de malas hierbas. Por ejemplo, en España solamente en el Valle del Ebro (Navarra, Aragón y La Rioja) se estimó el consumo de plástico para cubiertas de suelo en 2131 t en el año 2002, donde el tomate para industria y el espárrago acaparan un 80% de esta cantidad. Otros cultivos en los que se utiliza el plástico como acolchado son el pimiento, lechuga, acelga, escarola, melón, sandía, cardo, calabacín, berenjena y algunas crucíferas. Esta cantidad de plástico corresponde a la utilizada en 7500 hectáreas de cultivo (Gutiérrez *et al.*, 2003). El volumen de desechos generado es tan amplio que cuestiona seriamente la sostenibilidad de este sistema de cultivo. En zonas como el Campo de Cartagena (Murcia, España) la extensión de cultivos bajo acolchados son aún mayores, lo que indica que la problemática posee un carácter nacional en este país. Para el año 2000 se estima que se utilizaron entre 312 y 437 toneladas métricas de polietileno negro no degradable sólo por los cultivadores de melón en esta región de España (Contreras *et al.*, 2004).

Una situación similar a la descrita se repite en otros países, en especial en aquellos donde existe un clima favorable para la producción de cultivos hortícolas en estaciones del año donde los grandes centros de consumo del mundo no son capaces de autoabastecerse, debido a la limitación climática. Por ejemplo, en el estado de Florida (U.S.A.) se cultivan alrededor de 40000 ha bajo acolchado con polietileno

negro (Hochmuth *et al.*, 2002). Ya en 1988 en los Estados Unidos de América existían unas 8500 ha de producción de hortalizas bajo cubiertas de suelo y en el 87% de esa área se utilizaban polietileno de baja densidad no degradable (Schales, 1989 citado por Abdul-Baki *et al.*, 1996). Si bien no existen cifras exactas, se estima que China puede estar utilizando 5 veces más plástico para cubiertas de suelo que los Estados Unidos de América, mientras en Taiwán en el año 2001 se utilizaron unas 5500 t de plásticos para cubiertas en 31220 ha (Scott, 2005). En países tropicales de América Latina el uso del plástico de polietileno como cubierta de suelo a gran escala se limita a un grupo reducido de cultivos como el melón, pimiento (o pimentón) y flores ornamentales, lo que ha generado problemas puntuales de residuos de este material.

Cabe distinguir el uso de acolchados con polietileno negro u opaco del polietileno transparente. Mientras que en el primer caso el objetivo principal es controlar la proliferación de malas hierbas privándolas de luz, en el segundo caso el objetivo principal es conseguir precocidad en el cultivo en zonas templadas o lograr la esterilización del suelo en zonas tropicales. Por ejemplo, en zonas costeras mediterráneas el polietileno transparente es el más empleado, causando también problemas en su retirada y reciclaje (Contreras *et al.*, 2004). En el presente trabajo de investigación se evalúan alternativas al uso de polietileno negro, haciendo especial énfasis en el tema del manejo de las malas hierbas.

En la mayoría de las normativas internacionales de producción integrada, orgánica o ecológica es obligatorio eliminar los residuos de plástico del campo en forma de desechos y la eliminación por quema está prohibida en muchas zonas hortícolas. La dificultad en el manejo de los residuos de cubiertas plásticas en el campo comienza por su retirada, actividad lenta y laboriosa, ya que este material se rompe con facilidad, lo que limita su retirada en grandes láminas, salvo que su espesor sea elevado. Además, el plástico suele estar asociado a restos de suelo y vegetación, por lo que debe ser separado de estos materiales para poder ser reciclado o enviado a vertederos. Si bien diferentes investigadores y casas comerciales han desarrollado maquinaria especializada para retirar estos residuos del campo (Parish, 1999), la mecanización de la retirada de estos residuos es poco común, además de que el uso de la maquinaria especializada para esta actividad agrega un costo adicional al sistema. Lo más común es adaptar otros aperos (rastrillos, cultivadores, etc.) que son utilizados para recoger el plástico del campo, aunque muchos restos, especialmente los de menor tamaño, no son recogidos y son incorporados al suelo con la preparación de tierras en el ciclo siguiente. Parish *et al.* (2000) evaluaron una máquina que era capaz de recoger y quemar los residuos de cubiertas de polietileno en campo como

solución al problema, pero el prototipo desarrollado no funcionó apropiadamente, ya que no recogía todos los restos de polietileno y además producía glóbulos de polietileno como residuos de la quema, que son más difíciles de degradar y que se ligaban de forma más estrecha con el suelo.

En el caso particular del tomate para industria que se cosecha mecánicamente, la cosechadora va rompiendo el plástico que cubre la mesa, lo que imposibilita su recolección con maquinaria y dificulta aún más su recolección de forma manual. La recolección de la cosecha a mano produce menor daño sobre las láminas de plástico, pero normalmente ya en las fechas de cosecha dicho material se encuentra con niveles importantes de deterioro y con rasgaduras, lo que hace difícil y costoso su retiro del campo o limitado su uso en un cultivo de rotación, aunque esto puede ser posible.



Figura 1. Condición en la que queda el campo después de la cosecha mecanizada de tomate para industria con cubierta de suelo de polietileno negro no degradable.

Un estudio realizado por Contreras *et al.* (2004) indicó que el mayor beneficio económico en la siembra de melón se obtenía por la utilización de polietileno sin la posterior retirada del mismo y entrega a una empresa de gestión de residuos, siendo este el sistema más utilizado por los productores en la región de Murcia (España). El sumar el costo de la recolección y disposición a la gestión integral del polietileno usado como cubierta de suelo en la agricultura aumenta significativamente los costos totales de producción; por ejemplo, en U.S.A. Kelly *et al.* (1995) calcularon que el costo de la

compra, colocación y disposición final de la cubierta de polietileno negro no degradable de baja densidad estaba cercana a los 1250 \$.ha⁻¹.

Si bien el polietileno de baja densidad utilizado mayormente en la agricultura como cubierta de suelo sufre diferentes formas de degradación por oxidación (ya sea natural o por la adición de oxidantes), fotodegradación, termodegradación o degradación por la acción de microorganismos (Bonhomme *et al.* 2003; Lemaire, 2003; Koutny *et al.*, 2006), este proceso, además de ser altamente variable y dependiente de las condiciones climáticas y de suelo, es muy lento y según Feuilleley *et al.* (2003) se puede tardar hasta 300 años para la degradación total de polietileno de 60 micras de espesor sin aditivos. En muchos casos el proceso de degradación es incompleto, por lo que la permanencia de estos residuos de plásticos en los campos puede alargarse más aún en el tiempo y hacer prácticamente inviable la recolección de estos residuos, debido a su alta fragmentación. Esta situación se agrava cuando la tasa de introducción de estos plásticos en los campos (anual, en muchos casos) es mayor que la tasa de degradación, produciéndose así la acumulación de los mismos.

La permanencia de residuos de plásticos en los campos no sólo afecta al ambiente, sino que además influye de forma negativa en los cultivos posteriores: las normas de calidad en la producción de cultivos hortícolas industriales como la espinaca o el guisante no toleran ningún residuo de plástico en la parcela, ya que este sería recolectado con el cultivo y después resultaría muy difícil separarlo en el proceso de elaboración. Además, en los cultivos de siembra directa se corre el riesgo de que los plásticos obturen la sembradora, dificultando la uniformidad de la siembra (Gutiérrez *et al.*, 2003).

Algunos estudios sugieren que la utilización de cubiertas plásticas de polietileno puede acelerar el proceso de erosión del suelo, ya que aumenta la escorrentía por disminución de la infiltración. Esta situación también trae como consecuencia la mayor movilización de plaguicidas desde campos que utilizan cubiertas plásticas al ser comparadas con cubiertas orgánicas, tal como lo indican los estudios hechos en tomate por Rice *et al.* (2001). Sin embargo, otros estudios como los realizados por Wan y El-Swaify (1999) indican que la utilización de cubiertas plásticas no necesariamente producen mayor erosión y que los estudios de la dinámica de la pérdida de suelo bajo las condiciones de cubiertas plásticas debe ser estudiado con mayor profundidad.

Todos los inconvenientes en el uso del polietileno como cubierta de suelo cuestionan fuertemente su utilización para el control de malezas, ya que la técnica

conlleva los problemas asociados ya comentados como la retirada y el vertido de las láminas después de la recolección y la dificultad e inviabilidad económica de reciclar el polietileno utilizado como cubierta de suelo (Miles *et al*, 2003); sin embargo, hasta ahora no se han difundido alternativas equivalentes atractivas para el agricultor, en especial para grandes áreas de cultivo. De hecho en países de la Unión Europea el reglamento comunitario R(CEE) 2092/91 sobre producción ecológica tolera, de momento, el uso de cubiertas de polietileno. La consecuencia de toda esta situación, en el mejor de los casos, es la proliferación de vertederos incontrolados de estos plásticos en la misma explotación o en lugares cercanos a ella. La transferencia de este residuo a un vertedero autorizado conlleva la minimización del residuo, pero no su eliminación (Martín y Pelacho, 2004). Esta situación es una preocupación constante de los agricultores deseosos de realizar una agricultura adecuada y más respetuosa con el ambiente, por lo que el uso de cubiertas de polietileno es una actividad que será necesario ir reduciendo hasta suprimirla totalmente (Le Moine, 2003).

A pesar de estar permitido, el uso de cubiertas plásticas en la producción ecológica o integrada parece incompatible con la filosofía de sostenibilidad que se pretende alcanzar con la implantación de estos sistemas, ya que se emplea un producto derivado del petróleo (energía no renovable) y además se genera un residuo difícil de manejar, que se degrada con lentitud y con pocas posibilidades o altos costos de reciclaje. Es por ello que, en especial en este tipo de agricultura, deben estudiarse opciones más compatibles con el ambiente que permitan el eficiente control de la flora arvense, aprovechando las otras ventajas que ofrece este tipo de técnica.

Algunas de las alternativas propuestas plantean la utilización de materiales biodegradables de diverso tipo, los cuales deben durar en campo una cantidad de tiempo suficiente como para evitar la interferencia de las malas hierbas con el cultivo, siendo lo mínimo el período crítico de competencia. Estas alternativas deben ser, en la medida de lo posible, de bajo costo, que generen un bajo menor impacto ambiental, procedan de material reciclado de otros sistemas productivos o provengan de recursos locales, para así dar sostenibilidad a la técnica. Además, no deben tener un efecto negativo sobre el cultivo.

La evaluación de cubiertas de suelo biodegradables como plásticos fotodegradables, papel, fibras sintéticas, polímeros de origen vegetal, residuos de cosecha, etc. acapara gran parte de la investigación que se realiza actualmente en el área de los métodos no químicos para el control de malas hierbas. Recientes trabajos con plásticos biodegradables y otros materiales muestran resultados muy prometedores, ya que pueden controlar las malas hierbas de forma eficaz sin dejar

residuos (Martin y Pelacho, 2004; Moreno *et al.*, 2004; Cirujeda *et al.*, 2007a). La ventaja de estos materiales es que los mismos se descomponen o son enterrados cuando se prepara el suelo para el ciclo de producción siguiente, por lo que no es necesaria su recogida.

2.- OBJETIVOS

Descrita la problemática que existe con el uso del polietileno no degradable como cubierta de suelo en la producción hortícola y motivado por la necesidad de evaluar y promover alternativas al uso de esta técnica, en este trabajo de investigación se establecieron los siguientes objetivos:

2.1.- OBJETIVO GENERAL

Evaluar el uso de diferentes restos vegetales, plástico biodegradable y papel como alternativa al uso de polietileno como cubierta de suelo para el control de malas hierbas en cultivos hortícolas, utilizando al tomate (*Lycopersicon esculentum* P. Mill.) como cultivo modelo bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y de producción.

2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la capacidad de recubrimiento del suelo, la relación área cubierta/masa y el contenido en nutrientes de diferentes restos vegetales con potencial de ser utilizados como cubiertas de suelo.
2. Valorar el potencial efecto alelopático de diferentes restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre el cultivo del tomate.
3. Evaluar el efecto de control de malas hierbas de diferentes restos vegetales, papel, plástico biodegradable y polietileno utilizados como cubiertas de suelo.
4. Determinar el efecto sobre el desarrollo y la producción del tomate de diferentes restos vegetales, papel, plástico biodegradable y polietileno utilizados como cubiertas de suelo para el control de malas hierbas.
5. Valorar el impacto del uso de diferentes restos vegetales, papel, plástico biodegradable y polietileno utilizados como cubiertas de suelo para el control de malas hierbas sobre algunas características químicas y la temperatura del suelo, así como en el sobre el consumo de agua en el ciclo de producción del tomate.
6. Realizar un estudio económico sobre el uso de los diferentes restos vegetales, papel, plástico biodegradable y polietileno utilizados como cubiertas de suelo para el control de malas hierbas en el sistema de producción de tomate para industria.

3.- MARCO REFERENCIAL

3.1.- MARCO TEÓRICO

3.1.1.- El uso de cubiertas para el control de malas hierbas

Los términos cubierta, cobertura, acolchado o “mulch” se aplican para definir todas aquellas técnicas agronómicas que tengan como objetivo principal dejar una capa de material sobre el suelo que, entre otras cosas, impida la emergencia y el establecimientos de la flora arvense. Cubrir la superficie del suelo con diferentes tipos de materiales puede prevenir la germinación de las malas hierbas o convertirse en una barrera física para la emergencia de las plántulas. Los sistemas de cubiertas pueden tomar muchas formas: plantas vivas cultivadas que cubran el suelo, partículas de material orgánico o inorgánico distribuidos sobre la superficie o láminas de materiales artificiales o naturales colocados sobre el suelo. También pueden utilizarse restos de cosecha de cultivos como cubiertas (Bond y Grundy, 2001).

El uso de cubiertas, acolchados o mulch sobre el suelo es una técnica ancestral para el control de las malas hierbas. En los sistemas de producción agrícola de la América precolombina ya se utilizaba la técnica del “corte y tumbre”, en la que se cortaba la vegetación natural y se dejaba sobre el suelo como cubierta, después de lo cual se sembraba el maíz. Esta cubierta controlaba la flora arvense, suplía de nutrientes al cultivo y evitaba la excesiva evaporación del agua desde el suelo, además de controlar la erosión.

Tal como se ha hecho a través de la historia, las cubiertas de suelo como método de control de malas hierbas consisten en dejar sobre el suelo un material que evite la penetración de la luz al mismo y se constituya en una barrera física para la emergencia de la flora arvense. Una proporción importante de las semillas de especies arvenses necesitan luz para germinar, por lo que el uso de las cubiertas afecta el proceso de germinación de este grupo de plantas; otras especies no requieren de la luz solar para su germinación, pero la barrera física que suponen las cubiertas puede limitar la emergencia de dichas especies del suelo. Además, muchas cubiertas de origen orgánico pueden liberar compuestos alelopáticos que pueden influir en la germinación y desarrollo de las malas hierbas (Teasdale, 2003).

Son muchos los materiales que se han evaluado para su utilización como cubiertas de suelo en diferentes cultivos, entre los que se encuentran: el papel en diversas formas, incluyendo la pasta de fibra de papel (Shogren, 1999; Fokkema *et al.*, 2000; Unger, 2001; Weber, 2003), la grava, fragmentos de rocas o material volcánico

en cultivos perennes o zonas con poca cobertura vegetal, donde las cubiertas juegan un papel importante en la conservación del agua del suelo y como barrera contra la erosión, en especial en zonas áridas (Cerdá, 2001; Tejedor *et al.*, 2003; Yamanaka *et al.*, 2004); diferentes tipos de compost de diversos orígenes (Pinamonti, 1998); espumas hidrosolubles de diferente composición que al secarse dejan una capa sobre el suelo (Masiunas *et al.*, 2003) diversos tipos de residuos de cosecha (Abdul-Baki y Teasdale, 1997; Lal, 2000; Ramalan y Nwokeocha, 2000; Radics y Székelyné, 2002; Saroa y Lal, 2004) y los materiales más aceptados y ampliamente utilizados, las cubiertas plásticas de diferentes tipos, entre las que destaca como la más común el polietileno de baja densidad, ya sea negro (opaco) o de otros colores (Gutiérrez *et al.*, 2003; Quezada *et al.*, 2004).

Desde el punto de vista del manejo y gestión de las explotaciones agrícolas, uno de los factores a considerar es la disponibilidad de los recursos necesarios; en el caso de la cubiertas de suelo existen diferentes formas de disponer de estos materiales como insumo, entre las que destacan: (1) la adquisición externa de materiales sintéticos o naturales como cubiertas, como es el caso de los plásticos (polietileno o biodegradables), papel, pasta de papel o espumas de diferente composición; (2) la producción *in situ* del material, cultivando diferentes especies para su uso como cubiertas vivas, o que después de su desarrollo son cortadas o secadas para su colocación sobre el suelo como cubiertas inertes y (3) la importación de material orgánico para su uso como cubiertas, que se refiere a la introducción de, por ejemplo, restos de cosechas de algunas zonas excedentarias para su uso como cubiertas en zonas deficitarias de estos materiales.

El uso de cubiertas de materiales biodegradables originados en la agroindustria como subproductos de plantas extractoras de pulpas de diferentes frutas, centrales azucareros, plantas refinadoras de aceites vegetales, etc. o de plantas con comprobada capacidad alelopática, ha demostrado su eficacia en el control de malas hierbas (Taylor y Thomson, 1998; Delabays y Mermillod, 2002; Humeidan, 2003; Najul y Anzalone, 2006, entre otros) sin embargo, los estudios deben ser ampliados. El complejo sistema de interacciones entre los subsistemas del agroecosistema que son modificadas por el uso de las cubiertas del suelo exige una amplia investigación sobre el tema, ya que es necesario evaluar no sólo el impacto del uso de cubiertas sobre el cultivo y su producción, sino también los efectos a mediano y largo plazo sobre las características químicas y biológicas del suelo, las poblaciones de la flora arvense, la fauna asociada a los cultivos (benéfica o no), los patógenos, temas de investigación que han sido ya abordados de manera parcial.

Las cubiertas para el suelo modifican muchos aspectos de las labores de un cultivo, tanto que a veces el sistema de producción debe adaptarse a la presencia de las mismas; por ejemplo, el mayor desarrollo radical de las plantas, el aumento del dosel y la mayor productividad, así como la menor evaporación del agua desde el suelo en los sistemas con cubiertas plásticas (Lovelli *et al.*, 2005) y las implicaciones fisiológicas que estas alteraciones del medio producen, ha obligado a los investigadores y productores a diferenciar los procesos de fertilización y riego para estos sistemas de los sistemas tradicionales de suelo desnudo con uso de herbicidas, generando así todo un nuevo paquete tecnológico adaptado al uso de las cubiertas.

Las cubiertas de suelo también afectan las características físicas, químicas y biológicas del suelo, la transferencia de energía y materia entre el suelo y la atmósfera y el cultivo, además del crecimiento de las malas hierbas (Rao, 2002); es por ello que la implementación de esta técnica modifica de manera importante el manejo del cultivo, afectando de forma generalizada al agroecosistema.

3.1.2.- Los restos vegetales como cubiertas de suelo

Muchas formas de biomasa vegetal pueden ser utilizadas como cubierta orgánica del suelo. Como ejemplo de ello, Abdul-Baki y Teasdale (1997) evaluaron la leguminosa anual de invierno *Vicia villosa* como cultivo de cobertura que posteriormente era dejado como cubierta muerta en la producción de tomate para consumo fresco durante un período de 6 años, encontrando que cuando esta especie es utilizada como cubierta de suelo se extiende el período de producción del tomate entre 2 y 3 semanas más que las plantas donde se utilizaron cubiertas plásticas, lo que genera una producción entre un 20 y un 25% mayor. Además, el beneficio neto de la producción fue aproximadamente 60% mayor en el tratamiento con este tipo de cubierta, debido principalmente a la reducción de los costos por concepto de fertilización y uso de herbicidas. En otros países como India es común el uso de los restos de la cosecha de caña de azúcar y otros materiales vegetales como cubiertas de suelo en cultivos hortícolas (Labrada, 1994).

Uno de los problemas en los sistemas de producción agrícola tradicionales es el manejo de los restos del material vegetal después de la cosecha. Este problema es especialmente importante en cultivos donde dichos restos no son aprovechados directamente como forraje o fibra, ya sea por su mala calidad o por el alto costo del proceso de aprovechamiento. En estos casos los restos de la cosecha pueden tomar varias vías para su manejo: pueden ser recolectados y extraídos del campo, ser incorporados en el suelo, dejados sobre la superficie, o ser quemados. La opción ideal

es darle un adecuado uso a estos materiales, de manera de proporcionarles un valor agregado, permitiendo además su reciclaje. Dejar restos de cosecha sobre la superficie del suelo de manera que sirvan como capa de protección contra la erosión es una de las bases de los sistemas de mínima labranza y siembra directa sin preparación de tierras, y éstos sirven a su vez como barrera para la germinación y brotación de las malas hierbas (Landers, 2004).

En el caso de la recolección y extracción (exportación) de los restos de cosecha, un potencial uso de los mismos es como cubiertas de suelo para el control de malas hierbas en otros cultivos; sin embargo, lo ideal es que los restos vegetales que se utilicen con esta finalidad puedan ser producidos en la misma zona donde se utilizarán, ya que la exportación de estos materiales puede implicar gastos de consideración, en especial por las labores de manejo y transporte, haciendo de ésta una actividad antieconómica para sistemas de producción a gran escala (Baidu-Forson, 1994; citado por Erenstein, 2002). Una importante excepción a ésta realidad lo constituyen los sistemas de producción situados en zonas áridas o semiáridas, donde la producción de materia verde esta limitada por las condiciones climáticas; en estos casos es posible utilizar la importación de restos vegetales desde una fuente externa, como sistemas con “excedentes” de producción de restos de cosecha, para su utilización no sólo para el control de malas hierbas, sino como técnica para la conservación de humedad, el aumento de la materia orgánica del suelo (que suele ser baja en condiciones áridas) o la protección del suelo, actividades todas que pueden justificar la inversión necesaria, ya que apuntan a la sostenibilidad del agroecosistema y la productividad. Siendo las áreas semiáridas con disponibilidad de agua para riego altamente atractivas para la producción de ciertas hortalizas de alto consumo (cebolla, pimientos, tomate, etc.), es en estos sistemas donde puede ser viable la importación de material orgánico excedente de otros sistemas para su uso como cubierta.

El uso de la paja de arroz como cubierta orgánica para el control de malas hierbas puede tener un impacto positivo no sólo para aquellos productores agrícolas que la utilicen para este fin, sino también para los productores de arroz, ya que daría una respuesta a las opciones de manejo de los restos de este cultivo que tantos problemas acarrea. La recolección del campo de los restos de cosecha del arroz evitaría que los mismos deban quemarse o incorporarse al suelo, reduciendo así el impacto negativo que estas actividades tienen sobre la producción de este cultivo y sobre el ambiente. La exportación de estos restos desde los campos de arroz será una actividad económicamente atractiva sólo si existe un uso apropiado del material que

pueda compensar los gastos de la recolección del campo (empacado, por ejemplo) y del transporte a las zonas de consumo.

Otros materiales de cubiertas biodegradables como la paja seca de distintos cereales de invierno o restos de cosecha de cultivos como el maíz son opciones interesantes, debido a que constituyen recursos locales que se producen en grandes cantidades y, en muchas ocasiones, a bajo costo. La diversificación del uso de estos subproductos de origen agrícola puede incrementar tanto el valor de la cosecha del cultivo que produce el residuo, como el que lo recibe como cubierta de suelo.

Experiencias anteriores realizadas en la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” en Venezuela a través de diferentes trabajos de investigación (Humeidan, 2003; Najul y Anzalone, 2006) han comprobado la capacidad del uso de restos de cosecha y otros materiales biodegradables para el control de malezas en cultivos hortícolas, conformándose en una opción de producción económica y ambientalmente atractiva. De similar manera, el grupo investigador español del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria del Gobierno de Aragón y la Universidad de Zaragoza, han acumulado una importante experiencia en esta área del manejo no químico de malezas (Cirujeda *et al.*, 2007).

3.1.3.- Efectos de los restos vegetales como cubiertas de suelo sobre las malas hierbas

Es posible clasificar los efectos de las cubiertas de restos de cosecha sobre las malas hierbas en directos e indirectos; los efectos directos se producen por la interacción de la cubierta con las plantas y/o semillas de malas hierbas, mientras los indirectos suceden por la modificación del ambiente donde se desarrollan las malas hierbas a raíz de la presencia de la cubierta del suelo.

3.1.3.1.- Efectos directos

a.- Efectos físicos

Las cubiertas suponen una barrera física para las malas hierbas. El tipo de cubierta (continua o discontinua), el espesor y la dureza del material que se utilice juegan un importante papel dentro del efecto como barrera que supone la misma y que deberá ser superada por las plántulas de malas hierbas para su emergencia desde el suelo. Teasdale *et al.* (1991) y Bilalis *et al.* (2003) encontraron una correlación positiva entre la cantidad de biomasa dejada sobre el suelo en forma de restos de cosecha de diferentes cultivos y la reducción de la densidad de las poblaciones de malas hierbas, así como con el recubrimiento del suelo alcanzado. Esto indica que mientras mayor sea la masa del material que se utiliza como cubierta, mayor será el recubrimiento del

suelo y, por lo tanto, mayor será la limitación para la emergencia de las plántulas de malas hierbas. En este sentido, Gregory (1982) desarrolló algunos modelos matemáticos para predecir el nivel de recubrimiento del suelo por varios tipos y cantidades de restos de cosecha utilizados como cubierta de suelo, los cuales han sido utilizados por otros investigadores para el cálculo de la masa del material utilizado como cubierta que es apropiada para lograr un recubrimiento del suelo adecuado. Sin embargo, no siempre es la limitación de tipo física el factor más predominante como supresor de la emergencia de malas hierbas (Teasdale, 1993).

Los restos de cosechas afectan la germinación, la supervivencia, el crecimiento y la habilidad de competencia de las malas hierbas. En general, parece que estos efectos son mayores sobre especies de semillas pequeñas que sobre especies de semillas grandes. Debido a que las semillas de la mayoría de los cultivos son de una a tres veces más grandes que las de las malas hierbas con las que compiten, el manejo de los restos de cosecha ofrece una importante oportunidad para la supresión de las malas hierbas (Mohler, 1996; citado por Liebman y Mohler, 2001). Un ejemplo de esto lo podemos observar en los resultados obtenidos por Teasdale (1993) quien trabajó con paja seca de centeno (*Secale cereale*) para la supresión de malezas en maíz. Este investigador encontró que la emergencia del maíz no se afectó por la cubierta de paja, mientras especies de malas hierbas como *Setaria viridis* (con semillas de tamaño mucho menor que el maíz) vieron afectadas su emergencia. Similares resultados encontraron Moonen y Bárberi (2006) evaluando este mismo material para la mala hierba *Amaranthus retroflexus*, que disminuyó su emergencia a medida que se aumentaba la cantidad de cubierta que se dejaba sobre el suelo, pero con poco efecto sobre la emergencia del maíz, probablemente por el mayor tamaño de sus semillas y la mayor profundidad de siembra que le protege de los potenciales compuestos alelopáticos que puede liberar la cubierta orgánica.

b.- Supresión de la luz

Otro efecto que producen las cubiertas sobre las malas hierbas es la limitación de luz que produce la barrera que forma la cubierta. El sombreado que produce la cubierta sobre el suelo implica la imposibilidad de las plántulas malas hierbas de acceder a la luz solar, limitando así la fotosíntesis. De hecho, Bilalis *et al.* (2003) sugieren que, en base a las investigaciones previas hechas en el área, la limitación de la fotosíntesis es el principal factor que promueve la supresión de las malezas en los sistemas de cubiertas. Teasdale (1993) indica que en ensayos con cubiertas de paja de *Secale cereale*, la limitación de luz fue el factor más importante en el control de malas hierbas. Este aspecto junto a otros factores como la variación de temperatura y

la profundidad de siembra, también tienen un efecto en la germinación de ciertas especies de malas hierbas, como es el caso de *Fatua villosa* (Penny y Neal, 2003).

Para determinar la capacidad de control de una especie por las cubiertas es importante considerar la necesidad de luz que poseen las semillas para germinar (fotoblastismo). En general las especies anuales de pequeñas semillas que poseen requerimientos de luz para germinar son más sensibles a la presencia de cubiertas de suelo, mientras que especies de semillas grandes o plantas perennes son relativamente insensibles a este método de control (Teasdale, 2003). Sin embargo, es necesario destacar que factores como la temperatura, la humedad disponible y la calidad de la luz también tienen influencia sobre la germinación y el desarrollo inicial de las malas hierbas, y estos factores están íntimamente ligados a la presencia de las cubiertas sobre el suelo, por lo que es necesario considerar la influencia de las cubiertas sobre las semillas de malas hierbas desde el punto de vista multifactorial.

c.- Efectos químicos: Alelopatía

Muchos de los restos de cosecha que se utilizan como cubiertas poseen capacidad alelopática sobre las malas hierbas. La alelopatía es la producción de sustancias químicas de naturaleza orgánica a partir de tejidos vegetales vivos o en proceso de descomposición que, en forma directa o indirecta causarán efectos inhibitorios o estimuladores sobre plantas vecinas (Lazo, 1992). En la alelopatía también se deben considerar las sustancias químicas que son liberadas por las plantas y luego son transformadas por microorganismos (Liebman y Mohler, 2001). El grado de fitotoxicidad de la sustancia liberada por una determinada planta está influenciado por factores tales como la especie, el estado de crecimiento del donante y del receptor, las condiciones ambientales durante el crecimiento, etc. Esas sustancias producidas son el resultado del metabolismo y degradación de compuestos como gases tóxicos, ácidos orgánicos y aldehídos; y la liberación directa de compuestos como lactonas, quinonas, flavonoides, taninos, alcaloides, etc. que pueden ser liberados por volatilización, exudados de raíces, lixiviación o lavado, descomposición de restos vegetales, etc. Por ejemplo, los isotiocianatos liberados de *Brassica rapa* y *Brassica napus* pueden inhibir la germinación de las especies *Sonchus asper*, *Matricaria inodora*, *Amaranthus hybridus*, *Echinochloa crus-galli*, *Alopecurus myosuroides* y el trigo, inclusive cuando los restos de estas plantas son incorporadas al suelo (Petersen *et al.*, 2001).

La liberación de los aleloquímicos puede suceder desde plantas vivas o desde restos orgánicos en descomposición, por lo que el uso de restos vegetales como

cubiertas tiene el potencial de sumar el efecto de tipo químico a los de tipo físico. No siempre los compuestos alelopáticos u otros compuestos liberados por las plantas o sus restos son perjudiciales para las malas hierbas; casos como el descrito por Jones *et al.* (1999) indican, por ejemplo, que los extractos o la incorporación de restos de cosecha de *Pisum sativum* promovieron el crecimiento de las malas hierbas, incluso hasta aumentar la producción de materia seca de este grupo de plantas en un 127% con respecto a los tratamientos control. Por otro lado, la alelopatía no sólo puede afectar a las malas hierbas de forma favorable o desfavorable, sino que es lógico que también tenga efectos sobre los cultivos; Russo *et al.* (1997) citados por Bond y Grundy (2001) encontraron que la cubierta de *Hibiscus cannabinus* L. produce un excelente control de malas hierbas, pero tiene un efecto negativo sobre el rendimiento de la col de transplante. Estos resultados indican que si se pretende utilizar un residuo de cosecha como cubierta para el control de malas hierbas, es necesario evaluar la capacidad alelopática de dicho material no sólo sobre las especies malezas de mayor importancia del agroecosistema donde se proponga su uso, sino también sobre el cultivo donde se utilizará.

La alelopatía es un proceso complejo, donde intervienen numerosos factores propios de las plantas o material en descomposición, de las plantas receptoras del compuesto, del suelo, condiciones meteorológicas, etc. En muchos casos es difícil separar el efecto alelopático de una especie sobre otras de otros eventos de interacción como la competencia (Kobayashi, 2004), más aún en condiciones de campo. Por todo ello, Inderjit y Pilsen (2003) aseguran que la realización de bioensayos de campo son procesos críticos para validar la significación de la alelopatía en los sistemas naturales y agrícolas.

3.1.3.2.- Efectos indirectos

Los efectos indirectos de los restos de cosecha sobre las malas hierbas se producen básicamente por la modificación de las características microclimáticas, físicas y químicas del suelo que se genera por la introducción de estos materiales. Sin embargo, el efecto del uso de cubiertas va mucho más allá de la modificación de las características del suelo, ya que este material establecerá relaciones con los patógenos e insectos del medio, generando una serie de complejas interacciones que impactarán sobre el manejo y la dinámica poblacional de las plagas (Ngouajio *et al.*, 2004). Dependiendo del material que se utilice como cubierta, el estado del mismo (compostado o no, por ejemplo), la cantidad que se aplique y las condiciones edafoclimáticas del lugar, las cubiertas producen una serie de cambios en el agroecosistema que, sin duda alguna, tendrán influencia sobre las malas hierbas.

a.- Modificación de las características físicas y químicas del suelo

Dada la intensa relación que existe entre la utilización de cubiertas orgánicas para el control de malezas y el suelo, es necesario comentar el papel que poseen las cubiertas orgánicas, en especial los restos de cosecha, sobre el suelo y su manejo. La excelente revisión de bibliografía hecha por Erenstein (2002) indica que el uso de restos de cultivos como cubiertas de suelo detiene de forma efectiva la erosión del mismo, ya que provee una capa protectora sobre la superficie, incrementando la resistencia a la escorrentía superficial del agua y promoviendo la estabilidad de los agregados y la permeabilidad, todo ello a través de una combinación de efectos físicos y biológicos. Esta notable reducción en la erosión del suelo por el uso de cubiertas de restos de cosecha ha sido observada de forma repetida por muchos investigadores en suelos de diferentes latitudes y condiciones topográficas, y en la medida en que el recubrimiento del suelo aumenta, la erosión declina de forma asintótica hacia cero.

La presencia de restos de cosecha en la interfase atmósfera-suelo altera totalmente la ecología del suelo. La literatura sobre la utilización de restos vegetales como cubiertas de suelo basada en experimentación de campo y de modelación muestra que, en general, las capas de cubiertas tienden a disminuir la evaporación de agua desde el suelo, así como la amplitud en las variaciones de temperatura del mismo. Esta característica puede ser aprovechada en regiones áridas donde suelen presentarse eventos de precipitaciones intensas, para así limitar los procesos de erosión hídrica y a su vez prevenir la pérdida de agua por evaporación desde el suelo (González-Sosa *et al.*, 1999) o para aprovechar las pequeñas cantidades de agua que precipiten de forma esporádica, ya que las cubiertas hechas con restos de cultivos (paja de trigo, por ejemplo) tienen el potencial de incrementar el agua acumulada en el suelo después de pequeñas precipitaciones (Shangning y Unger, 2001). Por otra parte, Jennings y Jarrett (1985) indican como conclusiones de sus trabajos donde evaluaron el potencial de diferentes tipos de cubiertas para la reducción de la erosión del suelo, que los materiales porosos con capacidad de permitir la percolación del agua o su almacenamiento obtuvieron las menores tasas de erosión (menor arrastre de sedimentos del suelo y menor escorrentía) que aquellos materiales impermeables (como el polietileno, por ejemplo). Entre los materiales porosos ensayados por estos investigadores se encontraban restos de cosecha (paja de cereales), los cuales presentaron un excelente comportamiento como opción de manejo para disminuir la erosión.

En zonas semiáridas de México, Scopel *et al.* (2004) encontraron que el rendimiento en grano del maíz se duplicó al dejar $1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de restos de cosecha sobre

el suelo, principalmente por la capacidad de disminuir las pérdidas de agua del suelo. Por su parte, Mupangwa *et al.* (2007) describen que el aumento en el contenido de agua en dos tipos de suelo (arcilloso y arenoso) sucedió solo a dosis de 4 t.ha⁻¹ de restos de cosecha de maíz.

Otro impacto importante que producen los restos de cosecha sobre el suelo es la mejora en las condiciones físicas y en el aumento del carbón orgánico del mismo. Prueba de ello son los estudios llevados a cabo por Blanco-Canqui y Lal (2007) en un suelo con 10 años de manejo de los restos de cosecha de trigo bajo mínima labranza, que indican un significativo aumento del carbono orgánico del suelo y mejoras en las propiedades físicas de los agregados superficiales de suelo; además, la presencia de la cubierta de paja de trigo disminuyó la densidad del suelo en un 30 a 40% y aumentó la fuerza de tensión de los agregados 14 veces con respecto al suelo sin los restos de cosecha como cubierta. Al cubrir el suelo éste mantiene por más tiempo el mullido logrado por las labores de preparación del suelo, permitiendo un mayor desarrollo de las raíces del cultivo y facilitando una mayor absorción de agua y nutrientes disponibles por el efecto mismo del acolchado (Najul y Anzalone, 2006).

Las cubiertas de origen vegetal tienen un profundo impacto sobre la fertilidad del suelo, no tanto por el aporte directo de nutrientes, el cual en la mayoría de los casos es bajo, sino por la adición de materia orgánica, que es la pieza clave para el mantenimiento de la fertilidad y sostenibilidad en el uso del suelo. La materia orgánica provee alimento a la microflora y a la fauna del suelo, promoviendo así su desarrollo. En general, la adición de materia orgánica de calidad al suelo produce un incremento en la actividad biológica del mismo, con las conocidas consecuencias favorables que ello trae, tanto en los aspectos de fertilidad del suelo como en los aspectos físicos del mismo. Como ejemplo, Tu *et al.* (2006) encontraron que en un sistema de producción ecológica de tomates la utilización de cubierta de paja de trigo aumentó la biomasa microbiana, la actividad microbiana y el nitrógeno potencialmente disponible en un 42, 64 y 30% respectivamente en relación a un cultivo sin la utilización de esta cubierta, efectos atribuidos al aumento del carbono y del agua disponible para los microorganismos del suelo.

Pinamonti (1998) comprobó que el uso de cubiertas de diferentes materiales compostados (entre ellos cortezas de árboles) incrementó el contenido de materia orgánica, el fósforo disponible y el potasio intercambiable del suelo, además de mejorar la porosidad y la capacidad de retención del agua del suelo y reducir las fluctuaciones de temperatura del mismo. De similar forma, Barzegar *et al.* (2002) describieron que la aplicación de paja de trigo, bagazo de caña de azúcar o estiércol,

además de aumentar los rendimientos del trigo, mejoraron la estabilidad de los agregados, la tasa de infiltración, el agua retenida y la densidad aparente del suelo en todos los casos y a sólo un año de aplicar los tratamientos. Similares resultados fueron reportados por Lal (2000), quién observó una reducción de la densidad aparente del suelo por el uso de paja de arroz como cubierta del suelo. Por su parte, Saroa y Lal (2004) encontraron que la concentración total de fósforo en la capa superficial del suelo (5 a 10 cm) se incrementó significativamente con la aplicación de cubierta de paja de trigo después de 11 años continuos de tratamiento, pero la concentración total de azufre no varió de forma significativa. Por último y como ejemplo del impacto de las cubiertas sobre algunas características del suelo, Athy *et al.* (2006) reportan aumentos en la cantidad de materia orgánica, fósforo, magnesio y en la capacidad de intercambio catiónico de un suelo bajo cubierta de hojas molidas de diferentes especies arbóreas de 15 cm de espesor durante dos años, tiempo relativamente corto para la alteración de parámetros del suelo por vía de incorporación de materiales orgánicos.

No en todos los casos la utilización de cubiertas orgánicas afectan las principales características del suelo, ya que los procesos que conllevan a la alteración química o física del suelo por las cubiertas dependen de muchos factores, como lo son el clima, el tipo, dosis y estado de la cubierta utilizada, el tiempo de interacción entre la cubierta y el suelo, la riqueza microbiana del suelo y las condiciones del suelo al inicio de la aplicación de las cubiertas. Por ejemplo, Barajas-Guzmán *et al.* (2006) no encontraron cambios en el pH, carbón orgánico, nitrógeno total, NO_3^- y fósforo total en un suelo tratado con diferentes cubiertas (polietileno y cubierta de alfalfa) durante un año en un estudio de opciones para la reforestación de zonas de bosque seco tropical.

Todos los cambios en las características suelo generados por la utilización de cubiertas orgánicas producen un impacto en la dinámica poblacional de las malas hierbas, en especial a largo plazo. La utilización de cubiertas orgánicas para el control de malezas es una forma de aportar materia orgánica al suelo y es ampliamente conocido el papel central que juega la materia orgánica en la definición de las características del suelo, y de allí, en la relación suelo-malas hierbas. Por ejemplo, se ha observado que la incorporación de materia orgánica al suelo, actividad común en los sistemas de agricultura ecológica, puede reducir la presión que ejercen las malas hierbas sobre la producción del cultivo, en especial en cultivos hortícolas (Liebman y Davis, 2000) y que estas enmiendas orgánicas además de mejorar las características físicas y químicas del suelo, confieren otros beneficios para el manejo de las malas hierbas (Liebman y Mohler, 2001). Sin embargo, se ha observado que los cambios en

el manejo del cultivo en los sistemas orgánicos producen incrementos en la diversidad de la flora, por lo que el manejo de malas hierbas es una de las prioridades en los sistemas de producción orgánica (Davies *et al.*, 1997 citados por Ngouajio *et al.*, 2003). De similar forma, en los sistemas de producción bajo mínima labranza donde los restos de cosecha como cubierta juegan un importante papel, la modificación del sistema de siembra del laboreo tradicional al de labranza reducida posee un fuerte impacto sobre la densidad de las malas hierbas, que de forma general favorece el aumento de las especies gramíneas anuales y dicotiledóneas perennes y disminuye la densidad de las especies de hojas anchas anuales (Liebl *et al.*, 1992).

Erenstein (2002) indica que la conservación de restos de cosecha de cultivos sobre el suelo como técnica de producción, conlleva el desarrollo de un completo paquete de prácticas culturales y que este desarrollo depende de la adecuada valoración de las implicaciones socioeconómicas que conllevan los cambios en los sistemas tradicionales. El potencial uso de esta técnica es específico para cada localidad y puede haber diferencias entre el punto de vista privado (económico) y el social.

b.- Efectos sobre la microfauna asociada al agroecosistema

Otro efecto indirecto que producen las cubiertas sobre las malas hierbas es a través de la promoción de un amplio rango de organismos capaces de dañar a las plantas arvenses. Los daños de los caracoles sobre las malas hierbas pueden ser mayores y más frecuentes en sistemas con restos de cultivos como cubierta, y algunas especies como *Digitaria sanguinalis* pueden ser especialmente susceptibles. Sin embargo, estos daños son inconstantes y dependen, entre otras cosas, de la disponibilidad de agua en el ambiente (Liebman y Mohler, 2001). De similar forma, las lombrices de tierra suelen encontrarse a menor profundidad en el suelo en los sistemas con uso de cubiertas (debido a la mayor humedad y menor temperatura); esta situación puede promover el consumo de semillas de pequeño tamaño (como las de las gramíneas) por estos animales, reduciéndose así el banco de semillas del suelo o ayudan a controlar las plántulas por el maltrato a sus radículas durante su exploración del suelo.

Otros consumidores de semillas de malas hierbas que pueden verse favorecidos por la presencia de restos de cosecha en el cultivo son los escarabajos, hormigas e incluso pequeños mamíferos (ratones), pero es importante resaltar que el ataque de los organismos promocionados por la cubierta vegetal también puede suceder sobre el cultivo. Se han descrito patógenos como hongos y bacterias que

pueden promoverse con la presencia de las cubiertas orgánicas por la modificación del microclima que supone la presencia de estos materiales sobre el suelo, ya sea de forma desfavorable para el cultivo (Jacobs, 2005), como favorable o indiferente (Ferguson, 2001).

Thomson y Hoffmann (2007) demostraron que la adición de cubiertas de paja o compost en plantaciones de vid aumentó los enemigos naturales recolectados y los organismos del suelo. En este ensayo se describió mayor abundancia de escarabajos, himenópteros parasitoides, arañas de tierra, dípteros y hemípteros depredadores, así como lombrices de tierra en los tratamientos bajo cubiertas al ser comparados con el suelo desnudo. No se detectaron organismos plaga, aunque existió un aumento de lepidópteros clasificados como no plagas. Las formas en que estos organismos pueden ser manipulados para conseguir un control selectivo de las malezas sin causar daños al cultivo aún no se conocen, pero es posible la manipulación de diferentes factores como el tipo de cubierta, la fecha de siembra del cultivo, siembra directa o trasplante, diferentes cultivares, etc. para ir comprendiendo mejor como sacar provecho a la mayor y más diversa presencia de organismos asociados al cultivo en los sistemas con alta presencia de restos de cultivos o cubiertas .

En otros casos se ha comprobado que el uso de las cubiertas vegetales vivas o muertas junto a la combinación de otras técnicas puede contribuir a disminuir las poblaciones de nemátodos (Piedra *et al.*, 2004), lo que implica la reducción en el uso de agroquímicos para el control de esta plaga, reduciéndose así las posibilidades de que estos productos puedan afectar la vida microbiana natural del suelo.

Los efectos indirectos de las cubiertas orgánicas sobre las malas hierbas son difíciles de evaluar, ya que suelen suceder de forma lenta y sobre los mismos actúan una inmensa cantidad de factores, en la mayoría de los casos difíciles de separar e inclusive, de considerar. La mayoría de las evaluaciones que se encuentran en la bibliografía se restringen a efectos a corto plazo, en especial por la dificultad de llevar ensayos durante largo períodos de tiempo.

3.1.4.- Ventajas y desventajas del uso de restos vegetales como cubiertas de suelo para el control de malas hierbas

Las principales ventajas del uso de cubiertas de suelo de origen vegetal son: (1) control de malas hierbas, en especial especies anuales; (2) conservación de la humedad del suelo, técnica atractiva para sistemas de producción agrícola en zonas áridas o semiáridas; (3) evita la erosión, por lo que es una técnica ampliamente recomendada en los programas de conservación de suelo; (4) mantiene el régimen

térmico del suelo a través de su efecto regulador de temperatura, ya que se disminuye la amplitud en las variaciones diurnas/nocturnas; (5) aporta materia orgánica al suelo; (6) secuestra carbono en el suelo y permite el reciclaje de materiales que normalmente son tratados como residuos y (7) tiene un efecto favorable en la mayoría de los casos sobre la vida microbiana y la fauna del suelo.

Como toda técnica el uso de cubiertas orgánicas, en especial aquellas originadas a partir de restos de cosecha, también posee desventajas que son necesarias considerar: (1) en general las cubiertas impiden o dificultan algunas labores en el cultivo, en especial las de control de malezas por otros métodos; (2) los costos de producción en general son más altos al compararlos con el uso de herbicidas, aunque en algunos casos, de acuerdo al cultivo y al tipo de cubierta, la tasa de retorno es más atractiva, debido a las condiciones favorables que producen sobre el cultivo, que se traducen generalmente en una mayor productividad (Quezada *et al.*, 2004); (3) los efectos de las cubiertas pueden variar de forma significativa de acuerdo al tipo de cubierta utilizada y el cultivo involucrado, por lo que es necesario la implementación de una técnica particular a cada cultivo y situación; (4) es necesario disponer de maquinaria especializada o de gran cantidad de mano de obra para la colocación de las cubiertas y (5) las cubiertas cambian el régimen térmico del suelo, lo cual puede traer inconvenientes al cultivo (Quezada *et al.*, 2000a).

Desde el punto de vista económico la utilización de cubiertas orgánicas es relativamente poco atractiva, en especial si se mide su impacto a corto plazo. La importación de fuera de la explotación agrícola (si es necesaria), el transporte y la colocación de este material en el campo pueden constituir un significativo porcentaje de los costos del cultivo, en la mayoría de los casos mayores al uso de herbicidas y cubiertas plásticas. La colocación de las cubiertas en el campo es una de las tareas que consume mayor cantidad de mano de obra en el uso de esta tecnología, por lo que se han diseñado diferentes tipos de implementos maquinarias que logran mecanizar la labor; un ejemplo de ello puede ser consultado en Schäfer *et al.* (2002). Sin embargo, el uso de esta maquinaria está poco difundido, en especial en explotaciones agrícolas de mediano a gran tamaño, donde su utilización se justificaría desde el punto de vista económico.

Tal como se comentó, el tamaño de las semillas de las malas hierbas también es un factor importante que define la respuesta de una especie arvense a la presencia de las cubiertas orgánicas, ya que las cubiertas controlan con mayor efectividad a especies de semillas pequeñas; sin embargo, existen importantes excepciones que se convierten en desventajas para el uso de estas técnicas, como por ejemplo *Portulaca*

oleracea, una especie de semillas pequeñas que ha demostrado ser medianamente controlada por las cubiertas orgánicas. También es posible afirmar que las plantas perennes son pobremente controladas por las cubiertas más comunes, ya que poseen suficientes reservas para germinar y vencer la barrera física de la cubierta, además de poseer mayor capacidad de resistir la presencia de compuestos alelopáticos (Monaco *et al.*, 2002). Por otra parte, las especies tipo enredaderas pueden utilizar a las cubiertas orgánicas como un excelente sustrato para extender sus tallos y follaje, aprovechando los espacios entre el material orgánico para emerger y captar luz solar, encontrando en esa zona un área libre de competencia de otras malas hierbas (por ejemplo *Convolvulus arvensis*).

Otros de los inconvenientes que pueden encontrarse en el uso de cubiertas vegetales de restos de cosechas para el control de malas hierbas es que se requiere cierta técnica en el manejo, que aumentan los riesgos de helada en frutales, que pueden ser propensas a incendiarse (en especial la paja seca), que puede existir mayor incidencia de roedores y caracoles y que existen especies arvenses que se adaptan muy bien a la técnica (Zaragoza, 2003). De similar forma algunas cubiertas pueden ser propensas de ser movilizadas por el viento o por el agua cuando el sistema de riego es por inundación o surcos.

También es conocido el efecto de la inmovilización del nitrógeno que puede producirse por la incorporación al suelo de grandes cantidades de material con alta relación carbono/nitrógeno (Cheshire *et al.*, 1999). Tal situación ha sido reportada por Gawronski (2004), quién observó deficiencias de nitrógeno en trigo de invierno al utilizar diferentes cantidades de restos de girasol como cubierta de suelo y por Ghosh *et al.* (2006) con cubiertas de paja de trigo en cacahuets. La inmovilización del nitrógeno se produce por el aumento en las poblaciones de los microorganismos que utilizan a la cubierta orgánica como sustrato alimenticio, elevándose a la vez las cantidades de nitrógeno que queda inmovilizado como nitrógeno orgánico, no disponible para las plantas. Sin embargo, esta situación puede ser manejada, ya que las pérdidas en el rendimiento por efecto de la inmovilización de nitrógeno por la incorporación de grandes cantidades de pajas pueden ser mitigadas con la adición de nitrógeno mineral (Azam *et al.*, 1991).

El uso de cubiertas de restos de cosecha puede promover la introducción de semillas de malas hierbas, ya que en la biomasa de los restos de cosecha suelen venir mezcladas malas hierbas, que en muchos casos ya han fructificado. Por último en suelos fríos la colocación temprana de las cubiertas puede limitar la ganancia de temperatura del suelo, lo que puede afectar el desarrollo inicial de algunos cultivos.

En muchos casos la producción de los cultivos hortícolas bajo sistemas con cubiertas orgánicas es similar a los obtenidos en los sistemas con uso de herbicidas a suelo desnudo y generalmente son menores que los que se consiguen con el uso de plásticos, pero también hay que resaltar que no son pocos los casos en los que el rendimiento es reducido de forma significativa por la presencia de cubiertas orgánicas al ser comparado con sistemas tradicionales de producción, incluso hasta hacerse igual a los testigos sin control de malezas. Por ejemplo, Forcella *et al.* (2003) encontraron que al utilizar colza (*Brassica napus*) como cubierta en fresa, el control de malas hierbas era inconsistente y se registraba una baja producción; además si este material era incorporado al suelo el control de la flora arvense disminuía y la producción era tan baja como la del testigo sin control de malas hierbas. Estos resultados indican la variabilidad y dependencia de múltiples factores a la que se expone un productor por la utilización de residuos orgánicos vegetales como cubiertas de suelo, por lo que es necesario ensayar situaciones particulares.

El impacto de los restos de cultivos utilizados como cubierta de suelo sobre la producción de los cultivos donde son utilizados es muy variable y dependerá de múltiples y complejos factores, entre los que destacan el tipo de cubierta, la forma y época de colocación, el cultivo en el cual es utilizado, el tipo de suelo, las condiciones edafoclimáticas y la flora arvense presente en el área.

3.2.- ANTECEDENTES

3.2.1.- El uso de los restos de cultivos de cereales como cubierta de suelo

Los cereales poseen un bajo índice de cosecha, por lo que producen una gran cantidad de biomasa no útil como cosecha, que hace su uso como cubierta de suelo atractivo desde el punto de vista económico, además ser una vía para solventar los problemas del manejo del exceso de restos de cosecha. Por ejemplo, los ensayos hechos por Radics y Székelyné (2002) indican que la paja de centeno utilizada como cubierta de suelo obtiene mejores resultados en el control de malas hierbas en el cultivo del tomate al ser comparada con el control mediante el uso de herbicidas. Estos investigadores obtuvieron rendimientos del cultivo semejantes para las cubiertas con paja de centeno, plásticos y papel en los años más áridos del ensayo, pero en los años más húmedos la cubierta con paja se diferenció del tratamiento con plásticos o papel, quedando en un grupo estadístico menor en cuanto al rendimiento del cultivo. Al cabo de cinco años de ensayos, Radics *et al.* (2006) encontraron que los rendimientos en los tratamientos donde fueron utilizadas cubiertas eran significativamente mayores que el tratamiento con herbicida. Por su parte, Summers *et al.* (2004) reportan que un

cultivo de *Cucurbita pepo* donde se utilizó paja de trigo utilizada como cubierta de suelo produjo un mayor rendimiento y un número de áfidos transmisores de virus igual a un sistema que utilizaba polietileno con capacidad de reflejar la luz. La paja de trigo también disuadió a *Bemisia argentifolii* en la colonización de las hojas del cultivo y disminuyó la incidencia del daño producido por esta plaga. Similares resultados se obtuvieron por Summers *et al.* (2005) en otro ensayo con tratamientos parecidos.

En países templados la paja de cebada se perfila como una opción de material de cubierta orgánica, ya que se produce en grandes cantidades localmente y su recolección y exportación del campo es una actividad común. En este sentido, las evaluaciones hechas por Greb (1967) citado por Gregory (1982) indican que este material posee un aceptable coeficiente área cubierta-masa, lo que le confiere un potencial uso como cubierta de suelo para el control de malas hierbas.

Existen experiencias donde la siembra de ciertas especies para su posterior corte y colocación *in situ* sobre la superficie del suelo como acolchado han resultado positivas; en este sentido Creamer *et al.* (1996) cultivaron las especies *Vicia villosa* (veza), *Secale cereale* (centeno), *Trifolium incarnatum* (trébol rojo) y *Hordeum vulgare* (cebada) que después fueron cortadas y utilizadas como acolchado en un cultivo de tomate para industria, obteniendo un control de malas hierbas similar al tratamiento con herbicida, no siendo necesario realizar controles subsiguientes de malezas. También encontraron que las temperaturas medias del suelo fueron afectadas por el uso de las cubiertas y que existieron diferencias en los rendimientos del cultivo por efecto de la localidad, existiendo localidades donde la tasa de retorno fue mayor en los sistemas donde se utilizó el acolchado y un uso reducido de agroquímicos.

3.2.1.1.- La paja de arroz y su uso como cubierta de suelo

El arroz es un importante cultivo en el mundo, constituyendo la principal fuente de alimentación de un 40% de la población mundial (Alvarez, 1997). Los residuos que genera el cultivo del arroz, en especial la paja seca que se deja sobre el campo después de la cosecha, son de difícil manejo debido a que su aprovechamiento para otros usos es limitado. Este material posee fibra poco atractiva para la industria, es un forraje de mala calidad, posee limitados usos de biotransformación y, además, tiene limitaciones para su uso aplicaciones de ingeniería (Jenkins *et al.*, 1997; citados por Devêvre y Horwáth, 2000). Hasta hace algunos años la quema de estos residuos en el campo era la práctica más utilizada para su manejo, pero las nuevas normativas ambientales restringen esta actividad en muchos países, en especial en los más desarrollados. Ejemplo de esta legislación son el “Connelly-Areia-Chandler rice straw

burning reduction act” de 1991 y el “Senate Hill 318” de 1999, legislación sobre calidad del aire que restringe la quema de los residuos de arroz en el Valle de Sacramento del Estado de California, USA (Gao *et al.*, 2004). En otros países esta actividad esta regulada por reglamentos nacionales y regionales, así como por códigos de buenas prácticas agrícolas, en cuyo caso se suelen aprobar ocasionalmente permisos especiales para la quema de restos de cosecha de arroz, para evitar su acumulación en el suelo y su difícil manejo.

No sólo las emisiones de humo y de CO₂ a la atmósfera son consecuencias indeseables de la quema de los restos de la cosecha del arroz, sino que se han registrado emisiones (en bajas cantidades) de compuestos tóxicos policlorinados como el dibenzodioxin y dibenzofuran a partir de dichas quemas (Gullett y Touati, 2003), lo que agrega una desventaja más a esta técnica de eliminación de los restos del cultivo.

La gran cantidad de materia vegetal residual que se produce durante la cosecha del arroz, que se ubica entre 7 y 12 t.ha⁻¹ (Devèvre, y Horwáth, 2000), es la principal causa de los problemas para su manejo. En zonas como California (U.S.A.) se ha optado por la utilización de este material para la producción de etanol (biotransformación), pero en aquellas zonas de producción donde la cantidad de restos no hace económicamente rentable este tipo de biotransformación, los restos se convierten en un difícil problema (Wilhelm *et al.*, 2004). Por ejemplo en la zona de La Albufera (Valencia, España) los ayuntamientos han promovido y colaborado con la recolección de los restos de cosecha de arroz, ya que el programa de producción integrada de arroz en la zona persigue reducir al mínimo la quema de dichos restos. El material recolectado es llevado a una planta donde se produce un compost que es utilizado como abono por los mismos productores; sin embargo, aún no es recolectado todo el residuo del cultivo en la zona, por lo que se estudia la construcción de una planta de papel a partir del material de residuo de la cosecha del arroz o darle otros usos a este abundante material. Esta iniciativa ha conseguido la financiación del proyecto “ECO- RICE” un proyecto Life de la Unión Europea, el cual pretende la eliminación total de la quema de los restos de cosecha del arroz en la zona, a través de la utilización alternativa de dichos restos.

La opción más utilizada para el manejo de los restos de la cosecha en arroz es su incorporación al suelo, a través de diferentes técnicas e implementos. Una segunda opción utilizada en los sistemas de siembra directa es la dispersión sobre el suelo en forma de cobertura, haciendo así la “cama” de materia orgánica necesaria para la colocación de la semilla. Esta última opción es poco viable en sistemas de arroz bajo inundación con suelos muy arcillosos, condiciones muy comunes en los campos de

arroz. Por último, la recolección y extracción del campo de la paja de arroz restante de la cosecha es una actividad poco difundida, ya que, como se comentó con anterioridad, la paja recolectada posee poco valor agroindustrial y limitado uso en otras actividades; sólo suele ser utilizada como material aislante del piso en establos o crías de pollo o en la fabricación de papel para cigarrillos. También las limitaciones para la mecanización de la recolección de la paja en los arrozales, debido a la condición de alta humedad del suelo en el momento de la cosecha, es un fuerte inconveniente para la extracción de estos restos del campo.

La incorporación al suelo de los restos de la cosecha del arroz posee también algunas consideraciones que vale la pena mencionar. Muchos estudios han demostrado que esta labor interfiere con el desarrollo y genera problemas de reducción en la producción en el ciclo siguiente, debido a los lixiviados fenólicos solubles en agua que se liberan desde las plantas vivas y restos de cosecha del propio cultivo (Inderjit *et al.*, 2004; Einhellig, 2004). Muchos compuestos fenólicos de diferentes orígenes poseen propiedades alelopáticas; un ejemplo de ello lo constituyen algunos estudios hechos por Reigosa *et al.* (1999), quienes aislaron 6 compuestos fenólicos a partir de hojas frescas y hojas en descomposición en el suelo de *Capsicum annuum* y comprobaron los efectos de éstos sobre la germinación y el desarrollo inicial de las malas hierbas de *Chenopodium album*, *Plantago lanceolata*, *Amaranthus retroflexus*, *Solanum nigrum*, *Cirsium* sp. y *Rumex crispus*. En el caso del arroz, los compuestos fenólicos que se producen se unen a otros tipos de compuestos producidos por el metabolismo secundario de la planta, que pueden acumularse en el suelo debido a la incorporación continua de los restos de cosecha sin descomponer, originando así una fuerte interferencia sobre los cultivos subsecuentes, incluyendo el propio arroz.

La incorporación de residuos de arroz al suelo inicialmente tiene efectos negativos sobre el rendimiento del arroz del ciclo siguiente por la inmovilización del nitrógeno que sucede. Esta merma en la producción puede evitarse agregando nitrógeno después de la incorporación del residuo, o permitiendo que ocurra una completa descomposición del mismo antes de la siembra del ciclo siguiente. A largo plazo tanto la disponibilidad de nitrógeno como el rendimiento del cultivo del arroz parecen verse beneficiados con la incorporación de los restos de la cosecha al suelo (Eagle *et al.*, 2000); sin embargo, el impacto de repetidas e intensas incorporaciones de este material al suelo no se conoce en su totalidad y puede presentar grandes variaciones de acuerdo a factores edafoclimáticos y de manejo del cultivo, lo que exige que esta técnica de eliminación de los restos siga siendo estudiada.

En las zonas productoras de arroz del trópico y sub-trópico es común encontrar que después de la incorporación de los restos de la cosecha el suelo se inunde. Esta práctica es cada vez más común en países con climas templados y ha sido utilizada desde hace algún tiempo en California (USA), donde la inundación de los campos de arroz durante el invierno es una práctica generalizada. La inundación del suelo en post-cosecha también es adoptada por agricultores que utilizan suelos con problemas de salinidad, para así evitar el afloramiento de sales, situación muy común en los arrozales de España. La descomposición de tipo anaeróbica que sufren los restos de cosecha del arroz bajo estas condiciones puede contribuir a disminuir la inmovilización de nitrógeno en el suelo (Williams *et al.*, 1968 y Mikkelsen, 1987; citados por Eagle *et al.*, 2000), pero esta práctica está cada vez más cuestionada por la contribución a la emisión de gases con efecto invernadero que ella conlleva, ya que se conoce que en los sistemas de arroz donde se incorporan los restos de cosecha al suelo para ser inundado se producen grandes cantidades de metano (CH₄), que pueden estar aportando hasta un 20% de las emisiones de este gas con efecto invernadero en el mundo, ubicándose entre 60 y 100 millones de toneladas anuales (van Breemen y Feijtel, 1990 citados por Weber *et al.*, 2001). Además, la limitada descomposición de los residuos bajo este sistema produce una acumulación de grandes cantidades de los mismos en el suelo, haciendo cada vez más difícil el manejo del suelo. Por último el gasto de agua que se realiza para mantener bajo inundación estos campos durante largos períodos de tiempo cuestiona la técnica desde el punto de vista ambiental y de sostenibilidad.

Todos los inconvenientes que posee el manejo de los restos de cosecha del arroz indica que todo uso que se le dé a este material que pueda incentivar la recolección del mismo del campo evitando su quema o incorporación al suelo, como lo es el de su utilización como cubiertas de suelos, será un valioso aporte, ya que favorecerá el manejo del cultivo y promoverá el reciclaje de carbono, la disminución de emisiones de gases invernadero, además de dar valor agregado a este material, que en la actualidad es poco aprovechado.

Otro aspecto interesante en el uso de la paja de arroz como cubierta de suelo es la capacidad alelopática que este material vegetal posee. Algunos estudios indican que los extractos acuosos o metanólicos de la paja de arroz, la propia paja de arroz en descomposición e incluso el suelo donde el arroz se ha cultivado, contienen compuestos aleloquímicos que pueden inhibir la germinación y el desarrollo de malas hierbas. Chung *et al.* (2001) aislaron el ácido p-hydroxibenzoico, un conocido compuesto con capacidad alelopática, a partir de la paja de arroz. Este compuesto fue

capaz de inhibir la germinación y el crecimiento de *Echinochloa crus-galli*. Otros aleloquímicos comunes del arroz son compuestos fenólicos solubles en agua (Inderjit *et al.*, 2004) y también han sido identificados momilactonas y orizoalexinas (Takeuchi *et al.*, 2001). Sin embargo, varios autores, entre ellos Olofsdotter *et al.* (1999), coinciden en afirmar que el efecto alelopático del arroz y muy probablemente el de sus restos de cosecha, se debe al efecto sinérgico de varios compuestos originados por el metabolismo secundario de esta planta.

En otros estudios, Chung *et al.* (2003) y Ahn y Chung (2000) comprobaron el potencial alelopático que poseen las diferentes estructuras que conforman el residuo de la cosecha del arroz (tallos, hojas y cáscara) sobre *Echinochloa crus-galli*. Las pruebas hechas con diferentes variedades de arroz indican que el potencial alelopático varía de forma importante entre las variedades de arroz.

La alelopatía es un fenómeno complejo y pueden presentarse variaciones importantes en el efecto que generan los compuestos alelopáticos de acuerdo a las especies involucradas. Por ejemplo, se ha comprobado que los compuestos alelopáticos del arroz y sus residuos son capaces de estimular la germinación de ciertas especies; tal es el caso de los estudios realizados por Takeuchi *et al.* (2001), quienes confirmaron que las plantas vivas y la paja de arroz contienen sustancias que estimulan la germinación de las semillas de *Monochoria vaginalis*, una mala hierba de importancia en ese cultivo en ciertas zonas.

Ya algunos investigadores han evaluado la paja de arroz como cubierta de suelo en diferentes cultivos. Ramalan y Nwokeocha (2000) evaluaron diferentes opciones de manejo del riego en el tomate en la sabana nigeriana y entre ellas se evaluó el efecto de la paja de arroz como cubierta orgánica. Estos investigadores describieron que la cubierta de suelo con paja de arroz produjo diferentes tipos de efectos sobre el tomate: (1) retrasó la floración entre 5 ó 6 días con respecto al tratamiento sin cubierta; (2) el uso de la cubierta resultó en un número mayor de frutos que cuando no se utilizó la cubierta; además, los frutos eran más grandes, (3) se redujo el consumo del agua del cultivo y (4) la aplicación de la cubierta incrementó el rendimiento total del cultivo con respecto a las parcelas donde no se aplicó la misma. Estos resultados, los cuales se obtuvieron durante la sesión de sequías de la zona, indican que el uso de la paja de arroz es una opción viable para la producción de tomate en zonas áridas. En países como Pakistán y Filipinas el uso de la paja de arroz como cubiertas de suelos para el control de malezas es una práctica ampliamente extendida (Labrada, 1994).

Por otra parte, Lal (2000) llevó a cabo un estudio de 3 años para evaluar el efecto de la paja de arroz utilizada como cubierta de suelo sobre las características físicas del suelo y la producción de maíz. La paja de arroz logró incrementar de forma significativa la producción del maíz, que llegó a ser hasta un 22% mayor que el control (sin cubierta) cuando se aplicaron 7 toneladas de paja de arroz por hectárea. Los tratamientos fueron capaces de mejorar las características físicas del suelo, en especial disminuyendo la densidad aparente. Los cambios en las características físicas del suelo se restringieron a la capa superficial del mismo (0 a 4 cm). Por su parte, Coq *et al.* (2007) indican que el efecto de agregación del suelo por lombrices de tierra fue mayor cuando se dejaban restos de paja de arroz sobre el suelo que cuando se hacía con restos de soya y que la quema de la paja de arroz tiene varios efectos negativos sobre el suelo, entre los que destaca una pérdida del carbono en el mismo.

3.2.1.2.- Restos de cosecha de maíz

Los restos de cosecha del maíz conforman un material muy interesante para su uso como cubierta del suelo para el control de malas hierbas. El maíz tiene como característica interesante que su índice de cosecha es relativamente constante dentro de la misma variedad, a pesar que pueda variar de manera importante entre variedades; esto facilita el cálculo de la cantidad de restos que puede generarse durante la cosecha. El residuo de cosecha del maíz posee una excelente capacidad para cubrir el suelo, ya que, de forma general, unas 2 t.ha⁻¹ son capaces de cubrir el suelo en un 30% (Erenstein, 2002); sin embargo, estos valores dependen del tamaño de los componentes del residuo (hoja y tallo) y la forma de dispersión del mismo en el campo. En los sistemas de mínima labranza la importancia de los restos de maíz en el suelo es alta, ya que, por ejemplo, al evaluar la recolección de los restos de cosecha de maíz para su utilización en producción de etanol se concluye que la recolección debe ser parcial, ya que el hacerlo de forma total puede generar problemas de sostenibilidad de los sistemas, en especial en sistemas de cultivo intensivo sin rotación (Wilhelm *et al.*, 2004).

Los restos de cosecha de maíz poseen como característica resaltante que cuando son dejados sobre la superficie del suelo su descomposición es lenta y depende, en gran medida, del tamaño del residuo y del área de contacto entre el residuo y el suelo, que en el caso de no incorporarse es baja (Stemmer *et al.*, 1999); esta condición puede ser aprovechada para el uso de este material como cubierta de suelo para el control de malas hierbas, ya que puede garantizar un período de control apropiado. Además, la elevada producción de este residuo, que en muchos casos

genera problemas de manejo del suelo, abre la posibilidad de su uso como cubierta de suelo, constituyéndose en un recurso local de interés para su utilización.

Muchos de los estudios realizados sobre los restos de cosecha de maíz se han orientado a los sistemas de mínima labranza, donde dichos restos permanecen sobre el suelo sin ser incorporados al mismo; sin embargo, esta información debe ser utilizada con cuidado cuando se pretende extrapolar al uso de estos restos de cosecha como cubierta de suelo para el control de malas hierbas, ya que la situación es diferente.

3.2.2.- Las malas hierbas como cubiertas orgánicas

Cuando se calcula la producción de biomasa para su uso como cubiertas que genera un cultivo al momento de la cosecha o de plantas que se han sembrado específicamente para obtener biomasa, la contribución que realiza la biomasa de malas hierbas no suele ser considerada. Sin embargo, las malas hierbas pueden contribuir de forma significativa en la producción de biomasa de un cultivo, en especial en los de ciclo anual. Por ello, la biomasa que produce un cultivo puede ser subestimada, más aún en sistemas menos intensivos de producción donde el control de malas hierbas es incompleto o la producción de biomasa del cultivo es limitada por diversos factores (Erenstein, 2002). Así, en sistemas con fuertes limitaciones para la producción de biomasa, las malezas y especies adaptadas a una zona pueden ser una fuente útil como material para cubiertas de suelo de origen local; por ejemplo, Agele *et al.* (2000) utilizaron paja de especies como *Axonopus*, *Cynodon* y *Eleusine* a una tasa de 12 t.ha⁻¹ como cubiertas de suelo en cultivos de tomate de Nigeria, obteniendo mayor producción que los tratamientos donde el suelo se encontraba sin cubiertas. De manera similar, Lobo y Vivas (1995) utilizaron restos vegetales de cereales del género *Cenchrus* para evaluar el impacto de las cubiertas orgánicas sobre la erosión simulada y la productividad del sorgo (*Sorghum bicolor*) en un alfisol de Guárico (Venezuela); sus resultados indican que la utilización de este tipo de cubierta es capaz de disminuir la pérdida de suelo, aumentar penetración y almacenamiento de agua y mejorar la eficiencia en el uso de los fertilizantes, lo que repercutió en un mejor crecimiento y desarrollo del cultivo.

Por su parte, Gutiérrez *et al.* (2000) utilizaron como cubierta de suelo en cultivos de pepino un recurso local abundante en la zona donde se realizó el estudio, la paja de *Cenchrus ciliaris*. Estos investigadores compararon los rendimientos obtenidos con aquellos donde se utilizó plástico negro, reportando un mayor

rendimiento para el tratamiento con plástico negro, pero rendimientos aceptables para el caso de la cubierta con el material local.

3.2.3.- Otros materiales orgánicos utilizados como cubiertas de suelo

Siguiendo los principios básicos de la producción integrada, en cada zona de producción se deben considerar los materiales que localmente puedan ofrecer una alternativa para su uso como cubiertas de suelo, ya que el uso de los recursos locales posee destacada importancia en esta concepción de la agricultura. Por ejemplo, en las zonas montañosas de Venezuela es posible la utilización del pergamino del café, un subproducto que se obtiene durante el procesamiento del grano; en este sentido Castellano y Leal (1970) evaluaron la utilización de este material para la cobertura del suelo en fresa y lo compararon con los sistemas de cubiertas con plásticos de diferente tipo, obteniendo que la utilización del material es viable, aunque el rendimiento del cultivo fue significativamente menor que cuando se utilizó plástico negro.

En el estado Lara (Venezuela) ha sido evaluada la utilización de diferentes materiales vegetales y subproductos de la agroindustria como acolchado del suelo. Humeidan (2003) estudió el efecto de diferentes tipos de cubiertas orgánicas para el control de malezas en el cultivo de berenjena (*Solanum melongena*), entre los que se encontraban paja de *Pennisetum purpureum* y *Sorghum bicolor* y otros materiales como bagacillo de caña de azúcar y cascarilla de arroz; los resultados de esta investigación indican que las cubiertas vegetales favorecen el rendimiento del cultivo, incluso mucho más que con el uso de herbicidas. Por su parte Najul y Anzalone (2006) ensayaron el uso de cubiertas de pasto Guinea (*Panicum maximum*) en diferentes formas (entero, picado y compostado) en el cultivo de judía negra (*Phaseolus vulgaris*) y compararon este tipo de control de malezas con métodos químicos y de escarda manual, obteniendo como resultados que la aplicación de paja compostada aumentaba significativamente el rendimiento del cultivo y que el control de malas hierbas era similar entre los diferentes tipos de cubiertas y los métodos químicos y manuales tradicionales, lo que confirma la viabilidad de esta técnica para lograr un efectivo control de malezas. Otras experiencias a nivel nacional en Venezuela han sido realizadas por Abreu (1996) y Sevilla *et al.* (1996), quienes han evaluado las especies *Crotalaria juncea* (crotalaria), *Cajanus cajan* (quinchoncho), *Phaseolus lunatus* (tapiramo) y *Canavalia ensiformis* (canavalia) para su utilización como cubiertas vivas y muertas de suelo en sistemas de barbecho mejorado para el control de la erosión, encontrando que la crotalaria presentó la mayor relación carbono/nitrógeno y la menor tasa de descomposición de sus restos colocados en superficie, en comparación con

quinchoncho, tapiramo y canavalia, lo que asegura la permanencia de dichos restos por más tiempo, con la consecuente protección del suelo contra la erosión. Por su parte, Aponte *et al.* (1992), evaluaron restos de cosecha de maíz, caña de azúcar, hojas de pino (*Pinus caribea*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) solos y combinados con plantas con capacidad de repeler insectos o cenizas como cubierta de suelo para el control de malezas en un cultivo de tomate, concluyendo que las cubiertas orgánicas favorecieron los incrementos del rendimiento del tomate en proporción de 250 a 300% más por encima del testigo, además que algunas de las combinaciones con plantas repelentes evaluadas disminuyeron significativamente el ataque de plagas.

3.2.4.- *Artemisia absinthium* como cubierta de suelo

La utilización de plantas con comprobada capacidad alelopática para el control de malas hierbas ha sido evaluada de diferentes formas, ya sea utilizándolas como cubierta viva o muerta, aplicando sobre las malas hierbas extractos de dichas plantas o extrayendo de ellas el componente alelopático principal más o menos purificado, que puede ser aplicado de forma similar a un herbicida sintético.

En el caso particular del uso de plantas alelopáticas como cubiertas, existe un amplio número de especies que han sido consideradas útiles con este fin, ya que por observación directa se ha determinado que poseen efectos negativos sobre las plantas vecinas. Uno de estos casos son las plantas del género *Artemisia* (ASTERACEAE), que son utilizadas de diferentes formas, desde plantas medicinales hasta base para bebidas alcohólicas. El género *Artemisia* se dedicó a Artemisia, viuda de Mausoleo, rey de Caria (Villarías, 2006).

La versatilidad del uso de estas plantas puede estar basado en la amplia riqueza y variabilidad de sus componentes químicos, en especial el de sus aceites esenciales, que han sido estudiados con interés por la comunidad científica, encontrando como ejemplo las investigaciones realizadas por Juteau *et al.*, 2005; Phuong *et al.*, 2004 y Lopez *et al.*, 2004, entre muchas otras. Entre los innumerables compuestos químicos originados del metabolismo secundario de las plantas de este género cabe destacar la artemisina, una lactona sesquiterpénica presente en el aceite esencial que ha sido reportada como mutagénica; sin embargo, la investigación realizada por Piloto *et al.* (2000) indica que a partir de los resultados por ellos obtenidos, el extracto fluido etalónico al 70% no parece inducir efectos mutagénicos en los sistemas de ensayo donde se evaluó, aunque estos autores consideran que estos resultados son preliminares y deben ser profundizados; sin embargo, este compuesto ha demostrado poseer un alto efecto alelopático sobre otras plantas.

En cuanto a la alelopatía, el grupo investigador en el cual esta asociado el autor de este trabajo se ha interesado particularmente en la especie *Artemisia absinthium* L., conocida de forma popular en España como ajeno. Esta es una especie vivaz, a veces sufruticosa, con hojas 2-3 pinnatisectas, grisáceo-blانquecinas, con segmentos lineares a estrechamente lanceoladas que se concentra en herbazales nitrófilos de márgenes y ribazos del centro y mitad septentrional de la península ibérica y que raramente penetran en cultivos de regadío (Carretero, 2004).

Las experiencias realizadas por Pardo *et al.* (2005) indicaron que *Artemisia absinthium* puede ser utilizada como cubierta para el control de malezas en tomate, pero debe tenerse precaución en la dosis que se aplica, ya que un exceso de materia puede afectar al cultivo. De similar forma, Aibar *et al.* (2005) evaluaron el uso del ajeno como cubierta de suelo y aplicando extractos acuosos (30 g de plantas enteras por litro de agua y maceración durante 48 horas) de esta especie para el control de malas hierbas en el tomate, indicando que cuando el extracto es aplicado en dos ocasiones a 300 l.ha⁻¹ tiene un excelente efecto de control de malas hierbas, pero también afecta el desarrollo del cultivo. Previamente Bara *et al.* (1999) habían indicado que el extracto acuoso de *Artemisia absinthium* (40 g.l⁻¹) inhibió la germinación *in vitro* de las malas hierbas *Sonchus oleraceus* y *Amaranthus retroflexus*; además, en este ensayo las dosis intermedias tuvieron algunos efectos variables, como coleoptilos deformados o alargados, radículas inhibidas o cotiledones amarillentos. La menor dosis aplicada tuvo un ligero efecto estimulante, lo que indica el carácter inhibitorio/estimulador propio de los compuestos alelopáticos, que depende de la dosis aplicada. De similar forma, los ensayos llevados a cabo por Delabays *et al.* (1998) indicaron que *Artemisia annua* tiene un alto potencial para el control de *Amaranthus retroflexus* y *Chenopodium album*, dos malas hierbas importantes en los cultivos hortícolas de verano de gran parte de España.

Los contenidos en compuestos alelopáticos pueden variar de acuerdo al estado de crecimiento de las plantas o la parte de la planta donde los mismos se acumulen; esta condición añade un problema al aprovechamiento de algunas especies alelopáticas para su uso como cubiertas, ya que sería necesario recolectar dicho material o sus partes específicas justo en el momento oportuno. En el caso de las plantas del género *Artemisia*, los estudios hechos sobre *Artemisia vulgaris* (Phuong *et al.*, 2004) y *Artemisia verlotiorum* (Juteau *et al.*, 2005) indican que existen pocas diferencias en el contenido de aceites esenciales entre hojas y flores y que la variación del contenido de aceites a lo largo del ciclo de vida de la planta se modificaba muy poco, lo que supone una ventaja para su potencial uso como cubierta, ya que el

potencial efecto alelopático que puedan ejercer estas plantas estará presente independientemente de la etapa de crecimiento en la que se encontraba al momento de su recolección. A pesar de todo esto, siempre será conveniente recolectar los materiales para cubiertas de suelo en el momento en que el crecimiento sea más activo, como justo antes de la floración o inicio de la misma.

Dada la alta variabilidad en el tipo y contenido de los componentes alelopáticos y de otro tipo que se presentan en los extractos de las diferentes especies del género *Artemisia*, la posibilidad del uso masivo de estos extractos deberá considerar algún tipo de programa de mejoramiento de estas especies, de forma de obtener líneas genéticas con características deseables y menos variables.

3.2.5.- Otras cubiertas de suelo: polietileno, plásticos biodegradables y papel

3.2.5.1.- Polietileno

El acolchado o mulch con materiales plásticos no es nuevo en la agricultura, ya que desde los años 80 se ha expandido su uso a gran escala en amplias zonas de producción, en especial de cultivos hortícolas. La técnica se ha modificado a través del tiempo, en especial en el tipo de material que se utiliza, ya que al principio se utilizaban láminas de alto espesor (entre 30 y 50 micras), mientras en la actualidad es común el uso de láminas de 15 micras ó 60 galgas (Gutiérrez *et al.*, 2003).

Los beneficios del uso de esta técnica son ampliamente conocidos; entre otras cabe destacar el incremento de los rendimientos y de la calidad, mejor manejo de malas hierbas e insectos, la mayor eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes y un cierto control sobre la erosión (Wittwer y Castilla, 1995). Además es común que la utilización de cubiertas plásticas produzca un marcado efecto benéfico en la productividad y precocidad de muchos cultivos, incrementando incluso la calidad del producto cosechado. Estos efectos son particularmente importantes en zonas templadas y frías, probablemente por el efecto de calentamiento del suelo (Mungía *et al.*, 2000).

Muchas otras ventajas son atribuidas al uso de los acolchados plásticos, pero Scott (2005) las sintetiza en 5 puntos concretos con suficiente apoyo experimental: impacto sobre la temperatura del suelo, reducción en los costos de las labores, conservación del agua y los fertilizantes, control de malas hierbas y mayor desarrollo de las raíces del cultivo. Los cambios que se producen en el agroecosistema con la introducción de las cubiertas plásticas son variados y pueden afectar incluso la fisiología del cultivo, que en la mayoría de los casos se ve acelerado. Esto quedó demostrado en un estudio llevado a cabo por Mungía *et al.* (2004), quienes

determinaron que en un cultivo de melón bajo acolchado plástico la resistencia estomática, la temperatura del suelo y la temperatura del dosel fueron mayores al compararlo con un sistema de suelo descubierto, encontrándose además que la radiación neta y el flujo latente y sensible de calor fueron también mayores, lo que produjo precocidad en el desarrollo del cultivo.

Entre los plásticos más utilizados como cubiertas de suelo en la agricultura destaca el polietileno de baja densidad. Este material es el de mayor uso debido a su bajo costo y a la facilidad de su manejo para la colocación en el campo por sus excelentes condiciones mecánicas, en especial su elasticidad.

Un aspecto ampliamente evaluado en diferentes partes del mundo es la coloración de este tipo de material: el color más común es el polietileno negro, pero en zonas tropicales el de mayor uso es el plástico con dos colores, uno por cada lado de la lámina, predominando las combinaciones blanco-negro y los plateado-negro. La variación del color de los plásticos tiene una alta influencia en la absorción de luz y calor por el material, que podrán ser transferidos en diferentes niveles al suelo. También se ha evaluado el efecto del color sobre el desarrollo del cultivo y la dinámica de insectos plagas asociadas al mismo; como ejemplo, Quezada *et al.* (2004) en una evaluación del efecto del color del acolchado con polietileno sobre el desarrollo de un cultivo de pimiento, concluyen que la cantidad de luz que refleja un plástico y las características de su transparencia modifican en forma diferente la temperatura del suelo, siendo más determinante este factor sobre el desarrollo del cultivo que la radiación reflejada. La menor respuesta en desarrollo y rendimiento la tuvieron los acolchados negro y blanco. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) reflejada por los plásticos probablemente influye sobre la morfogénesis de las plantas y su rendimiento final. Estas conclusiones dan motivos para seguir investigando en esta área, ya que cada cultivo puede responder de forma diferente según el estímulo de la luz reflejada por las cubiertas.

Las investigaciones hechas sobre la relación plagas-color del plástico presentan resultados similares a las indicadas para la relación desarrollo del cultivo-color del plástico, donde cada plaga o grupo de ellas responde de forma diferente a la presencia del plástico y a su color. Por ejemplo, Benoit y Ceustermans (2002) encontraron que en la producción de puerros en Bélgica, se detectó mayor desarrollo del cultivo y menor incidencia de tisanópteros en las plantas con acolchado blanco, amarillo y azul que en aquellas sin acolchado. De similar forma, Summers *et al.* (2005) indican que el plástico de color plateado es capaz de reducir la incidencia de *Bemisia argentifolii* en melón al compararlo con la producción del cultivo en suelo sin cubierta.

Contrario a todas las ventajas y posibilidades propias del uso de cubiertas plásticas de polietileno, el gran inconveniente del uso de este material como acolchado del suelo son los residuos que se generan al final de su vida útil. Las soluciones actuales para la eliminación de esos residuos una vez recolectados son poco satisfactorias, predominando la incineración del material en situaciones no controladas. El reciclaje de plásticos procedentes de invernaderos es factible, pero para el caso de los procedentes de acolchado de suelo en campo los costes son muy elevados (Mazollier y Taulet, 2003; Le Moine, 2003). La resistencia del polietileno al ataque biológico para su degradación en el ambiente está relacionada con la naturaleza hidrofóbica de este material, su alto peso molecular y la carencia de los grupos funcionales reconocibles por los sistemas enzimáticos microbianos. Todas estas características limitan los usos del polietileno en los cuales la biodegradación es una cualidad deseable (Chiellini *et al.*, 2003).

Además de este inconveniente, algunas especies de malas hierbas perennes no son controladas por esta técnica, ya que perforan el plástico (por ejemplo, *Cyperus rotundus* L.), especialmente cuando el grosor del mismo es tan sólo de 15 micras ó 60 galgas (López, 2003). Mientras, otras especies, en especial las enredaderas o volubles, aprovechan pequeñas fisuras en la cubierta para emerger del suelo, haciendo necesario el tratamiento con herbicidas o el control mecánico, así como el manejo de las malas hierbas entre hileras. Por último es importante destacar que el riesgo de heladas aumenta con el uso de cubiertas plásticas, en especial cuando se utilizan en climas nórdicos (Berglund *et al.*, 2006).

Si bien el uso de polietileno y de otros tipos de plástico supone una mayor inversión para la producción de cualquier cultivo, en la mayoría de los casos esta inversión es retribuida por una mayor rentabilidad, debido básicamente al aumento de la producción y a la calidad de la cosecha. Por ejemplo, Vavrina y Roka (2000) indican que adoptar el uso de cubierta con polietileno para la producción de cebolla aumenta entre 988 y 1235 \$.ha⁻¹ los costos, pero si bien esto puede aumentar el flujo de dinero y los riesgos financieros totales, el valor agregado de la mayor producción en peso y el aumento en el porcentaje de bulbos clasificados como de alta calidad sugieren que la técnica es una excelente opción de incrementar el retorno neto total de un productor.

3.2.5.2.- Plásticos biodegradables

Con la intención de aprovechar todas las ventajas que han quedado demostradas con el uso del polietileno como cubierta y disminuir el impacto de los residuos que genera este material, la industria de polímeros ha desarrollado diferentes

formas de plásticos degradables o de envejecimiento acelerado. Este material posee varios orígenes y tipos, pero básicamente son láminas similares a las de polietileno, pero de una composición química que permite su rápida descomposición. Le Moine (2003) indica que existen dos grandes familias de plásticos de envejecimiento acelerado; aquellos de polietileno con aditivos foto y/o termodegradantes y los de copoliéster con y sin almidón. Otra clasificación contempla por una parte a los plásticos naturales, aquellos hechos a base de almidón de maíz, papa, etc. y por la otra a los sintéticos, formados por derivados del petróleo y que pueden o no incluir mezclas de almidón degradable (González, 2003). Aunque muchos fabricantes de estos materiales los declaran como biodegradables (y en consecuencia, bioasimilables), de momento no existe ninguna norma aceptada por consenso en la comunidad científica, ya que las conclusiones son divergentes sobre este punto (Le Moine, 2003); sin embargo, existen normas locales que certifican ciertos materiales como compostables, ya que sufren procesos de degradación que permite su incorporación a sistemas de compostaje de residuos sin dejar residuos contaminantes. La falta de consenso ha hecho que algunos investigadores indiquen que un término más apropiado para referirse a estos materiales es el de “plásticos de envejecimiento acelerado”. Los procesos de degradación de estos materiales en el ambiente son complejos e interesantes y una completa revisión del tema puede encontrarse en Scott (2005).

Para aprovechar el bajo costo del polietileno y hacer de este un material ambientalmente más aceptado, las estrategias para facilitar la desintegración del polietileno y su subsiguiente biodegradación han sido centradas en la incorporación directa de grupos carbonil dentro de la estructura del material o en su generación *in situ* por la incorporación de pro-oxidantes. Los aditivos prodegradantes utilizados incluyen compuestos polinsaturados, iones metálicos de transición y complejos metálicos tal como los ditiocarbamatos, que hacen que el polietileno, y las poliolefinas en el general, sean susceptibles a la hidropoxidación. Estos grupos funcionales actúan como iniciadores de la termo y foto-oxidación de las cadenas del polímero. Estos procesos de degradación abióticos dan lugar a macromoléculas funcionales cuando la degradación termo y/o fotoquímica repetitiva produce fragmentos de bajo peso molecular, especialmente en la presencia de los iones metálicos de transición. Estos productos oxigenados de bajo peso molecular incluyen los ácidos carboxílicos alifáticos, los alcoholes, los aldehidos y las cetonas (Chiellini *et al.*, 2003).

La incorporación directa de polímeros biodegradables naturales tales como el almidón en el polietileno también es utilizado como estrategia para aumentar la

biodegradabilidad del material. El principal efecto de la degradación promovida por la asimilación microbiana de los polímeros naturales en las mezclas de polietileno y polímeros naturales es el aumento del área superficial del material sintético, que lo hace más susceptible a la oxidación abiótica. Éste es solamente un ejemplo de la degradación oxidativa indirecta del polietileno promovida por los procesos de biodegradación de los polímeros naturales. Sin embargo, se ha registrado una variación significativa del peso molecular y de las características mecánicas para el polietileno con almidón cuando está sometido a la acción de ambientes bióticos tales como el compostaje. Es por ello que se considera que el proceso de degradación del polietileno en sus mezclas con polímeros naturales es el resultado de la interacción compleja de procesos oxidativos abióticos y bióticos (Chiellini *et al.*, 2003).

Las nuevas tecnologías han permitido la síntesis de polímeros de origen netamente natural. De entre la gran variedad de polímeros biodegradables que existen, el Mater-Bi® se presenta como una opción de amplio y variados usos similares al de los plásticos no biodegradables, entre ellos como cubierta de suelo para el control de malas hierbas. Este biopolímero se deriva del almidón natural como el de maíz y posee una estructura natural formada por cadenas lineales de amilosa y cadenas ramificadas de amilopectinas. El proceso de producción de Mater-Bi® implica la ruptura de la estructura original del almidón y su posterior reordenación en una nueva superestructura con la formación de complejos entre la amilasa y moléculas naturales o, en algunos casos y dependiendo del uso, sintéticas. Estos complejos forman un nuevo orden que incrementa la resistencia al agua y genera cambios en las características mecánicas de la molécula original de almidón (Novamont, 2007). Este material cumple con la normativa EN 13432, que indica que el material es compostable. Materiales similares con origen en diferentes fuentes de almidón (patatas, trigo, etc.) se encuentran ya en el mercado.

Independientemente de su composición, los acolchados degradables deben cumplir con el propósito tradicional de mejorar el rendimiento agronómico de las plantas, limitar los aportes de insumos, poder ser desplegados con facilidad de forma mecanizada y poseer características de resistencia y durabilidad adecuadas, además de cumplir con la reglamentación vigente en cuanto al contenido de residuos tóxicos. La gran ventaja de la utilización de estos materiales es el limitado impacto ambiental que poseen, ya que la degradación acelerada hace que no sea necesario la recogida y disposición de los residuos que quedan al final del ciclo.

Son muchos los ensayos que se han realizado para evaluar el impacto del uso de las cubiertas plásticas de diferentes tipos en los cultivos. Quezada *et al.* (2000a)

evaluaron el comportamiento de diferentes tipos de plásticos fotodegradables negros y transparente en el cultivo de fresa y los compararon con plásticos similares no degradables. Este grupo investigador ha evaluado en varios ensayos diferentes tipos de materiales de cubiertas plásticas de envejecimiento acelerado (fotodegradable, fotobiodegradables, etc.) en diversos cultivos y en general han encontrado que los materiales fotodegradables se degradan bastante rápido, durando sólo una sesión de cultivo, pero que en todos los casos los niveles de rendimiento son similares a los otros tipos de acolchado degradables o no, por lo que suponen una ventaja de tipo ambiental (Quezada *et al.*, 2000b y Quezada *et al.*, 2003).

La opción del uso de cubiertas biodegradables combinadas con otras técnicas para la producción orgánica de cultivos de alto valor está atrayendo la atención de muchos productores e investigadores, en especial para aquellos cultivos con frutos de consumo fresco y directo. En este sentido Berglund *et al.* (2006) encontraron que la combinación de la fertilización orgánica con estiércol de pollos (compostado o no) y la utilización de cubiertas de plástico de rápida degradación (polietileno sin protección UV) resultó en una producción 60% mayor, plantas más sanas y una mineralización más rápida del nitrógeno que los tratamientos sin cubiertas.

Las experiencias realizadas por Cirujeda *et al.* (2007a) en diversas localidades de España también indican que el uso de los plásticos biodegradables tiene un efecto sobre el rendimiento del cultivo de tomate similar al del polietileno negro, con las ventajas ambientales que el uso de estos materiales produce. Probablemente una de las principales limitantes en el uso de estos nuevos materiales sea su mayor costo y la disponibilidad en cantidades suficientes para abastecer al mercado en sustitución del polietileno.

3.2.5.3.- El papel como cubierta de suelo

El papel, en especial el reciclado, es una alternativa interesante al uso de plásticos como cubiertas de suelo, ya que es un material económico, biodegradable y que ofrece facilidades para su adquisición y manejo. Probablemente las mayores limitantes para el uso de este material sea el manejo por la maquinaria durante su colocación, ya que se puede romper con facilidad y es pesado cuando se manejan grandes bobinas, así como la durabilidad del mismo en condiciones de campo, debido a que la humedad y el sol pueden acelerar su degradación de tal forma que el tiempo del efecto de control de malas hierbas sea menor al período crítico de competencia para los cultivos en que se utilicen, en especial aquellos de ciclo largo, resultando en un deficiente desempeño.

Este material ha sido evaluado en diferentes cultivos y su aplicabilidad en las condiciones de producción de algunos cultivos hortícolas es prometedora. Por ejemplo, Miles *et al.* (2003) han estudiado diferentes opciones de cubiertas como alternativa a la cubierta plástica, ya que los residuos generados por el uso de este tipo de cubierta se han convertido en un problema ambiental a gran escala en los Estados Unidos de América. Otros investigadores como Kristiansen *et al.* (2003), Martín y Pelacho (2004), Harrington y Bedford (2004) y Cirujeda *et al.* (2007a) han obtenido también resultados prometedores con el uso del papel como cubierta de suelo, aunque en algunos de estos estudios este tipo de cubierta fue la más costosa o poseía un desempeño regular.

El acolchado con papel ya sea procedente de fibras recicladas o de pulpa de madera colocado con máquinas especializadas puede resultar útil en explotaciones hortícolas de medianas a grandes. La duración es anual y las láminas de papel pueden ser incorporadas al suelo (Runham y Town, 1995) mediante rotovator o rastra de discos y posterior enterrado con vertedera. Este material es capaz de impedir el crecimiento de malas hierbas de forma similar al polietileno, aunque los tratamientos con herbicidas en ocasiones pueden dar mejores resultados. Disminuir la temperatura del suelo respecto al suelo desnudo o cubierto con polietileno puede ser interesante en ocasiones (Runham *et al.* 1998), aunque en otras puede traer consecuencias indeseables sobre el crecimiento de los cultivos, en especial en su fase inicial después de un período de bajas temperaturas. Tras la incorporación de los restos de papel al suelo la descomposición es bastante rápida y los niveles de metales pesados o de microcontaminantes no suelen verse incrementados, pero es un aspecto que hay que vigilar, ya que hay que tener en cuenta que ciertos aditivos en el papel pueden producir contaminación del suelo. En los Estados Unidos de América, por ejemplo, los papeles reciclados con tintas de colores o de papel satinado están prohibidos para su uso como cubierta en agricultura ecológica.

Entre los materiales derivados del papel para su utilización como cubierta de suelo se encuentran las láminas de papel con diversos ingredientes que aumentan su duración, como aceites o restos de cosechas (Miles *et al.*, 2003) e incluso restos de papel reciclado (Unger, 2001). También es posible encontrar en el mercado los llamados “hidromulchs” que no son más que papel y otras fibras (madera, pajas, etc.) que se aplican sobre el suelo mezclados con agua, con lo cual forman una pasta fluida que permite su distribución en el campo por medio de maquinaria especializada para este fin; este tipo de cubierta se suele utilizar para estabilizar los taludes de carreteras y en muchos casos se venden enriquecidas con semillas de ciertas especies de

gramíneas, que lo utilizan como sustrato y facilitan así la fijación y estabilización del suelo en dichos taludes.

Las características favorables del uso del papel como material de acolchado son similares a las del plástico, pero con la ventaja de que es biodegradable y, si además proceden de material reciclado, las ventajas ambientales son aún mayores (Cooke, 1996). Para aumentar su duración se puede tratar con aditivos que lo hagan más impermeable, además de que se logra que la temperatura del suelo sea más baja que con plástico negro o transparente, por lo que el crecimiento de malas hierbas es menor o más lento. Las láminas de papel son porosas por lo que permiten cierto grado de intercambio gaseoso del suelo con la atmósfera (Bachmann y Earles, 2000). De forma similar al acolchado plástico, el uso de láminas de papel disminuye el lixiviado de nitratos en riego por goteo (Romic *et al.*, 2003), aunque cuando el riego es excesivo, estas pérdidas de nitrógeno pueden ser importantes (Vázquez *et al.*, 2006).

Las cubiertas con papel han sido comparadas favorablemente con el plástico negro en ensayos de hortalizas de transplante (Runham y Town, 1995). La correcta colocación y la rapidez en establecimiento del cultivo son las claves del éxito para evitar el desgarro y levantado del papel por efecto del viento (Runham, 1998). Se han ensayado acolchados con papel marrón y negro en lechugas y cultivos de flores, con buen control de malas hierbas. Los cambios de humedad ocasionaron el rajado del papel marrón, mientras que el papel negro soportó esas condiciones sin agrietarse (Wilson, 1990); también se han evaluado diferentes tipos de papel tipo Kraft impregnado o revestido con aceites vegetales polimerizados, lo que ha alargado la vida útil del papel hasta en 4 semanas (Shogren, 1999).

Harrington y Bedford (2004) utilizaron diferentes tipos de papel para el control de malas hierbas en cultivos hortícolas y frutales encontrando resultados similares a los obtenidos con el uso del polietileno negro en cuanto al control de malas hierbas. Estos investigadores también indican que uno de los inconvenientes encontrados en la utilización del papel como cubierta fueron los daños que ocasionaba el viento, que rasgaba y levantaba las láminas desde el suelo, además que este tratamiento fue el de mayor costo. Sin embargo, en zonas donde existan malas hierbas perennes como el *Cyperus rotundus* su uso puede verse justificado a pesar de su mayor costo, ya que el papel de más de 125 g.m⁻² e incluso el papel de fibra larga Mincord® de 85 g.m⁻² pueden controlar efectivamente a esta especie (Cirujeda *et al.*, 2007b).

En otra serie de estudios Anderson *et al.* (1995) exploraron la viabilidad del uso de cubiertas de papel reciclado (negro y tipo Kraft) como alternativa al uso del

polietileno en el cultivo del tomate; en este estudio también se incluyó la evaluación de tratamientos con aceite vegetal y/o el azufre elemental para retardar la degradación del papel en contacto con el suelo. En los experimentos de laboratorio e invernadero la descomposición de papel fue perceptiblemente retrasada al tratarlo con aceite de cocina (usado y sin usar), así como se redujo la pérdida de resistencia a la tracción. El tratamiento con azufre también retrasó la descomposición del papel. El tratamiento con aceite aumentó la transmisión de luz del papel tipo Kraft. Por otra parte, en los experimentos de campo se determinó que las temperaturas del suelo bajo papel tratado con aceites eran mayores que en suelo desnudo o bajo papel sin aceites, aunque siempre menores que los tratamientos con polietileno negro. El aumento en la penetración de luz en el papel tratado con aceite permitió el mayor desarrollo de las malas hierbas bajo el mismo, lo que produjo una presión interna sobre la lámina que sobrevino en la ruptura del mismo en la línea de contacto con el suelo, prácticamente al mismo tiempo que los papeles no tratados con aceites. Bajo condiciones de campo el azufre no aumentó la longevidad de la cubierta de papel. En cuanto a los rendimientos del tomate, estos fueron similares para el papel negro y el polietileno negro con precocidad similar entre ambos, a pesar que la temperatura del suelo en el tratamiento con polietileno fue mayor. Por último estos investigadores concluyen que si bien el papel negro es considerablemente más costoso que el PE negro, el papel tipo Kraft reciclado se puede obtener en rollos de gran tamaño a costos por hectárea más bajos que la película plástica.

En todo caso, será necesario combinar los conocimientos sobre la biología de las malas hierbas, los métodos culturales y el control directo para conseguir que las poblaciones de malas hierbas se mantengan en unos niveles adecuados al utilizar el acolchado de papel como método de control de malezas (Bond y Grundy, 2001).

4.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.- ÁMBITO DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación que sustenta esta tesis tuvo un carácter internacional, ya que se llevó a cabo conjuntamente en Venezuela y España, siendo en éste último país donde se concentraron la mayoría de los ensayos. La planificación del trabajo incluyó la instalación de ensayos de campo en las áreas para experimentación agrícola asignados a la Unidad de Protección Vegetal del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria del Gobierno de Aragón (CITA) en Montañana, provincia de Zaragoza (España) y en un campo para la experimentación en agricultura ecológica ubicado en la Agropecuaria “El Tunal”, a las afueras de la población de Quibor, Municipio Jiménez del Estado Lara (Venezuela).

Por su parte, los ensayos de laboratorio se realizaron en las instalaciones del CITA en España y en el Laboratorio de la Unidad de Investigación en Fitotecnia, adscrita al Departamento de Fitotecnia del Decanato de Agronomía de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” (UCLA) en Venezuela.

4.2.- FUENTES DE FINANCIACIÓN

Las actividades que se desarrollaron en España contaron con financiación parcial por parte del fondo asignado por la Diputación General de Aragón al grupo consolidado de investigación denominado PROVESOS (Producción Vegetal Sostenible), el cual está bajo la dirección del Dr. Carlos Zaragoza y del cual forman parte el Dr. Joaquín Aibar (ambos codirectores de esta tesis) y el doctorando. Otra fuente de financiación parcial fue el trabajo de investigación RTA2005-00189-C05-01 titulado *“Evaluación de cubiertas biodegradables y restos vegetales para el control de malas hierbas en cultivos hortícolas”* aprobado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) de España al equipo investigador liderado por la Dra. Alicia Cirujeda y el Dr. Carlos Zaragoza y en el cual participa tanto el Dr. Joaquín Aibar como el doctorando que presenta esta tesis. Cabe destacar que el desarrollo de este trabajo de investigación en España involucra a equipos de investigación de 5 comunidades autónomas, con una variación importante de las condiciones agroclimáticas en las que se aplica la técnica y tratamientos similares con el presente trabajo de investigación.

En Venezuela las actividades del trabajo fueron financiadas por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” (UCLA), a través del trabajo 005-DAG-2006 el cual se titula *“Evaluación de materiales biodegradables y restos vegetales como cubiertas de*

suelo para el control de malezas en cultivos hortícolas”. Esta financiación fue complementada con el Fondo “Lisandro Alvarado” asignado por la UCLA al personal miembro del Programa de Promoción al Investigador del Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y Tecnología, del cual es beneficiario el candidato a doctor, en el Nivel I de dicho programa.

4.3.- METODOLOGÍA

La metodología utilizada en esta investigación contempló la instalación de un ensayo principal de campo, el cual fue complementado con una serie de ensayos en condiciones de invernadero y laboratorio para valorar otros aspectos de la técnica evaluada. Los aspectos generales en los cuales se enfocaron las evaluaciones pueden resumirse en: (1) Valorar la capacidad de recubrimiento del suelo y el potencial alelopático sobre el cultivo de las cubiertas ensayadas; (2) Estudiar el impacto de las cubiertas en condiciones reales o simuladas de producción sobre las malas hierbas y desarrollo y producción del cultivo; (3) Valorar los aspectos económicos centrados en la relación costo-beneficio de la aplicación de la técnica para cada uno de los materiales ensayados. Los ensayos realizados serán descritos de forma detallada a continuación.

4.3.1.- Caracterización de las cubiertas de suelo evaluadas

El objetivo general de las evaluaciones realizadas entorno a este aspecto fue conocer la capacidad de recubrimiento del suelo e intercepción de luz de los diferentes restos vegetales ensayados cuando son utilizados como cubiertas de suelo, así como la determinación de la cantidad de nutrientes que contienen dichos materiales. Por otra parte se recolectó toda la información posible para conocer en detalle las características de las cubiertas utilizadas en los ensayos no provenientes de restos vegetales, como son el papel, el plástico biodegradable y el polietileno y, además, se determinó la cantidad de algunos contaminantes en estos materiales, de manera de asegurar la viabilidad ambiental del uso de los mismos.

4.3.1.1.- Determinación de la capacidad de recubrimiento del suelo por los restos vegetales utilizados como cubiertas

Se realizó un ensayo donde se determinó la relación entre el porcentaje de cobertura del suelo con diferentes dosis ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de los restos vegetales. En este caso se utilizó una modificación de la metodología descrita por Teasdale y Moler (2000) y Gregory (1982) y la información que allí se generó permitió conocer la cantidad apropiada de los restos vegetales que deben ser aplicados por unidad de área como cubierta para lograr un correcto recubrimiento del suelo.

Las cubiertas de restos vegetales evaluadas en este ensayo fueron: **paja seca de cebada, paja seca de arroz, restos secos de cosecha de maíz** (que incluye hojas y tallos) **y restos frescos de *Artemisia absinthium*** (hojas y tallos). Estos materiales, con excepción de la *Artemisia*, fueron recolectados y empacados en campo y se almacenaron, a cubierto, para su uso en los ensayos. En cada caso se trató de utilizar material recolectado en el ciclo de producción más cercano a la época de instalación del ensayo, de manera que el material fuera “fresco”. Los materiales no fueron tratados con ningún tipo de producto químico ni fue modificada la condición física (tamaño de partícula, componentes, etc.) de los mismos para su utilización en los ensayos. Por su parte la *Artemisia* fue el único material que se utilizó “en fresco” y se cosechó un día antes de su aplicación en campo.

Para cada material se procedió a determinar el porcentaje de cobertura por dosis, disponiendo para ello un experimento bajo un diseño completamente aleatorizado con 5 repeticiones, donde los tratamientos correspondieron a diferentes cantidades del material de la cubierta por unidad de área (dosis). Las dosis evaluadas fueron: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 t.ha⁻¹. Las muestras se colocaron sin compactar en un marco de 20 x 20 cm (0,04 m²) con lados de 15 cm de altura y se determinó el % de cobertura del fondo del marco, con la ayuda de un analizador de imágenes (Delta-T Image Analysis System), que consta de una cámara de video, un soporte de iluminación desde el fondo del marco y un programa de gestión de las imágenes.

Tras la calibración inicial del analizador de imágenes, en cada caso se obtenía una imagen digital de contraste del área interna del marco con la cantidad de material correspondiente (negro para el material y blanco para el área no cubierta por el material), que posteriormente era analizada digitalmente para determinar el área interna del marco que era cubierta por el material ensayado (de color negro). Un esquema del proceso descrito se presenta en la figura 2.

Dado que en los ensayos de campo realizados con *Artemisia absinthium* fueron aplicados en forma fresca (inmediatamente después del corte de las plantas), en este caso se estudió la capacidad de recubrimiento del suelo repitiendo el ensayo antes descrito a los 0, 14 y 21 días tras su corte y bajo condiciones de intemperie; esta evaluación detallada se realizó debido a que la pérdida de humedad de este material en condiciones de campo afecta de forma importante su capacidad de recubrimiento del suelo, situación que no se presenta en los demás materiales debido a que éstos poseen un porcentaje de humedad muy bajo en el momento que son colocados como cubierta. Sin embargo, es necesario aclarar que los restos vegetales de *Artemisia* poseen gran porcentaje de tallos, los cuales sufren poca disminución de su tamaño con la pérdida de

agua; además, esta planta se caracteriza por crecer en ambientes bastantes secos, por lo que su porcentaje de humedad natural es relativamente bajo con respecto a otras especies.

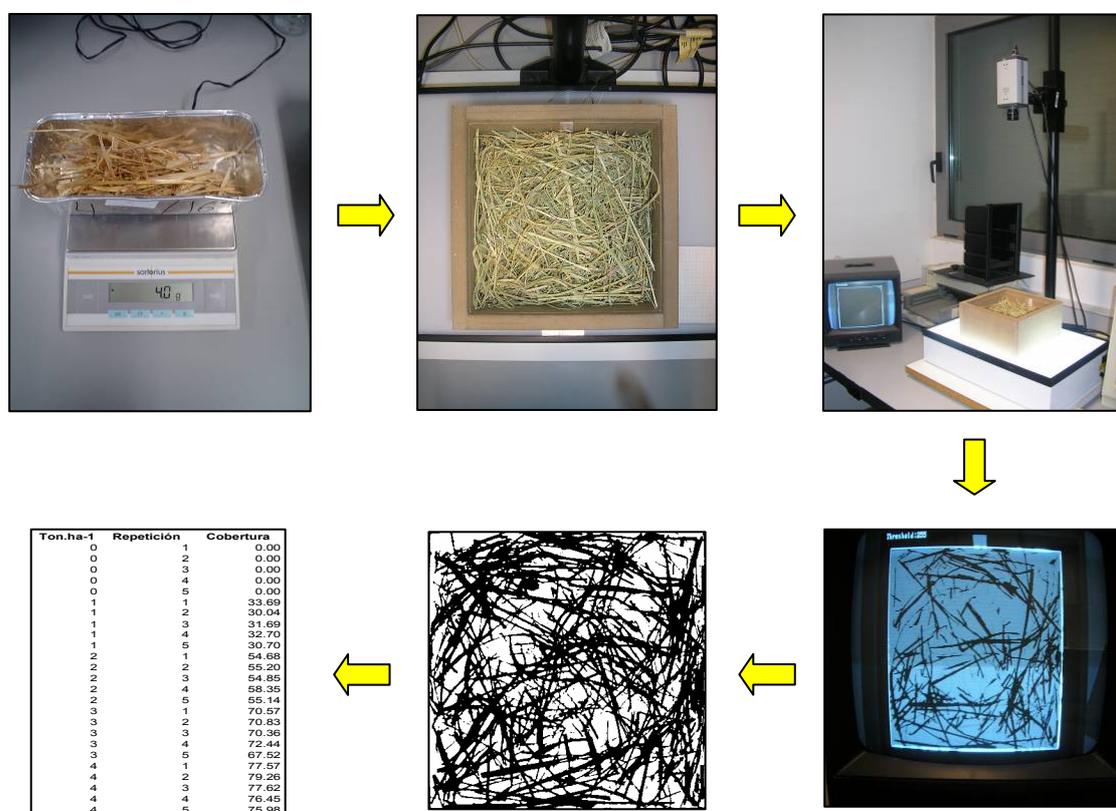


Figura 2. Proceso de determinación de la capacidad de recubrimiento del suelo por los restos vegetales evaluados como cubiertas de suelo.

4.3.1.2.- Caracterización química de los restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo

Otro de los aspectos evaluados durante el proceso de caracterización de los restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo fue la capacidad de aporte de nutrientes al suelo de acuerdo a su composición mineral; en este sentido a diferentes muestras de los materiales se les realizaron determinaciones de materia orgánica, relación carbono/nitrógeno, nitrógeno total (método Kjeldahl), fósforo (método UV visible) y se determinaron los contenidos de potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc por absorción atómica. Estos análisis fueron realizados por el Laboratorio Agroalimentario del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (Zaragoza, España).

4.3.1.3.- Caracterización física del papel, plástico biodegradable y polietileno negro utilizados como cubiertas de suelo

Tal como se comentó, previo al uso del papel, del plástico biodegradable y el polietileno se recolectó toda la información técnica disponible de estos materiales para un mayor conocimiento y un mejor manejo de los mismos. En los casos del plástico biodegradable y el polietileno, las principales fuentes de información fueron los manuales técnicos y las hojas de uso de dichos materiales suministradas por las casas productoras, así como comunicaciones directas con los distribuidores de los productos. En cuanto al papel, hubo la oportunidad de visitar la empresa fabricante y conversar directamente con los técnicos sobre las propiedades del material y su potencial uso como cubierta de suelo para uso agrícola.

4.3.1.4.- Caracterización química del papel, plástico biodegradable y polietileno negro utilizados como cubiertas de suelo

Para la caracterización química del papel, el polietileno y el plástico biodegradable se concentró la atención en la determinación de algunos de los contaminantes más comunes de estos materiales; para ello se procedió a enviar muestras de estos materiales al Laboratorio Agroalimentario del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (Zaragoza, España), donde utilizando el método de rutina con voltamperímetro se determinaron los niveles de zinc, cadmio, plomo, cobre y níquel en cada material, repitiendo esta determinación en los años 2006 y 2007.

4.3.2.- Valoración del potencial alelopático de los restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre el cultivo de tomate

Basados en el trabajo de Radosevich *et al.* (1997) puede concluirse que son tres las metodologías básicas utilizadas para la evaluación de alelopatía entre plantas. Una de las más utilizadas es la extracción de los compuestos alelopáticos con una solución, que puede ser desde un solvente orgánico hasta agua. Posteriormente es posible aislar e identificar los compuestos, para ser utilizados en bioensayos y evaluar su efecto sobre las plantas que interesen. Esta metodología es efectiva para probar que los compuestos alelopáticos son producidos en las plantas donadoras y que pueden producir daño sobre las plantas receptoras (Zambrano, 2002). La interpretación de los resultados en este tipo de ensayos debe ser hecha con precaución, ya que en condiciones reales de interacción entre plantas los compuestos alelopáticos deben ser expulsados al ambiente y estar en una concentración suficiente como para ejercer su acción, lo cual no se evalúa de forma confiable en este modelo experimental. Otro inconveniente de estos tipos de ensayos es que el sistema de extracción del compuesto es artificial y exhaustivo, además se desconoce si la concentración del extracto que se evalúa es similar a la que se produce en condiciones reales. A pesar de estas limitaciones la información que aportan los

resultados de estos experimentos es útil para conocer de la presencia de compuestos en las plantas donadoras capaces de afectar el crecimiento de las receptoras.

Otra forma en que se puede evaluar la alelopatía es la incorporación del material donador directamente sobre el medio de crecimiento de la planta que se desea evaluar como receptora. En este caso el material alelopático se incorpora al suelo y se deja actuar durante un período de tiempo, después del cual se evalúa el crecimiento de la planta receptora sobre el suelo “tratado”. En esta investigación se empleó una variante de este tipo de ensayos, basada en la metodología utilizada por Qasem (2001).

Las evaluaciones realizadas en esta serie de ensayos se enfocaron en valorar el potencial efecto alelopático de los restos vegetales utilizados como cubierta sobre el cultivo, ya que si se observaba algún tipo de acción fitotóxica de alguno de los materiales sobre el cultivo, ello es razón suficiente para descartar su uso.

4.3.2.1.- Evaluación del potencial alelopático de extractos acuosos de restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre plantas de tomate

El objetivo de este grupo de ensayos fue conocer el potencial alelopático de diferentes concentraciones de extractos acuosos de las diferentes cubiertas ensayadas (paja de arroz, de cebada, de maíz y *Artemisia absinthium*) sobre plantas jóvenes de tomate. La metodología utilizada se basa en la descrita por Chung *et al.* (2003), que es similar a la utilizada por Caamal *et al.* (2001).

En este ensayo se tomaron 625 g de cada material en 10 l de agua destilada y desionizada durante 24 horas a temperatura ambiente con agitación frecuente, todo ello basado en la metodología descrita por Aibar *et al.* (2005), pero con una importante diferencia en la relación masa del material:agua, ya que en estos ensayos dicha relación es mayor al doble que en los ensayos descritos por Aibar *et al.* en 2005, con la intención intensificar la extracción y obtener extractos de alta concentración, ampliando así los márgenes de seguridad apropiados de los resultados, en especial si éstos eran negativos (sin efecto alelopático sobre el cultivo).

En el caso particular de la *Artemisia* el material recolectado en campo se dejó deshidratar por 48 horas a temperatura ambiente bajo sombra previo a la utilización del material para obtener los extractos. Para la preparación del extracto se realizó un ajuste en el peso del material de acuerdo al porcentaje de humedad de la muestra, corrigiendo la masa utilizada a un nivel de humedad similar al de los otros restos vegetales utilizados, que promediaron un valor de 7%. Posteriormente los extractos fueron filtrados y se midió su pH, potencial osmótico y conductividad eléctrica. Los extractos fueron almacenados bajo refrigeración hasta su uso en los diferentes tipos de ensayo.

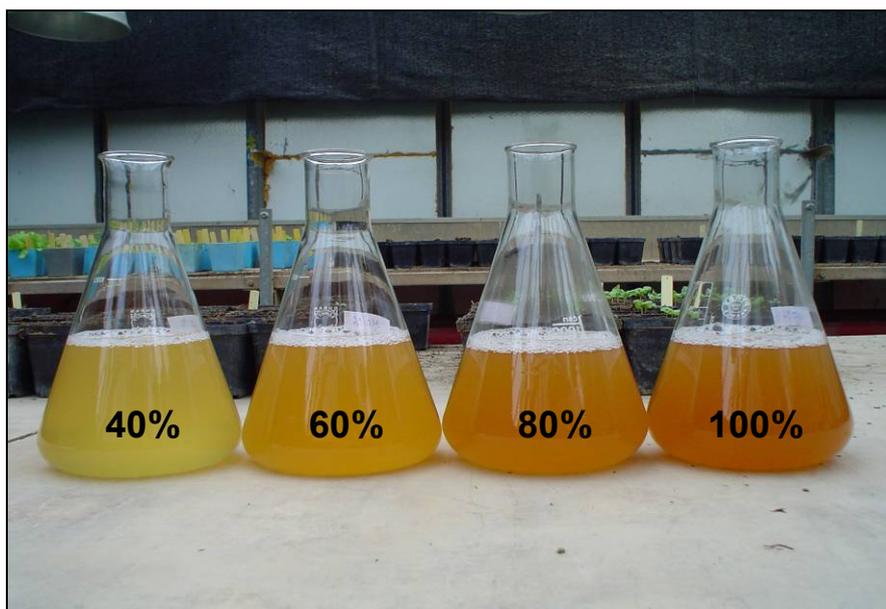


Figura 3. Aspecto del extracto acuoso obtenido de la paja de cebada en diferentes concentraciones.

Con similar método para la preparación de los extractos, en esta etapa del trabajo se realizaron tres ensayos similares, pero con pequeñas modificaciones que surgieron de la experiencia acumulada en el desarrollo de los mismos. Los tratamientos aplicados consistieron de diferentes concentraciones de los extractos acuosos de las cubiertas ensayadas (0, 20, 40, 60, 80 y 100%). Las plantas de tomate de la variedad 'PerfectPeel' con dos hojas verdaderas se trasplantaron en macetas sobre un sustrato hecho de una mezcla de suelo tomado del campo experimental donde se instaló el ensayo de campo (cuyas características se describen posteriormente), materia orgánica compostada y arena en proporción 7:3:1. El suelo tomado del campo no evidenció signos de presencia de patógenos.

La aplicación de los extractos se realizó directamente sobre el suelo. El bajo volumen de sustrato en las macetas, lo que supone una baja disponibilidad de nutrientes para las plantas, obligó a realizar una fertilización foliar, ya que las plantas mostraron evidencias de estrés nutricional, el cual se corrigió con la fertilización aplicada. Todos los ensayos se llevaron a cabo en invernadero con una temperatura de 26 °C de día y 20 °C de noche y 16 horas de luz, la cual se complementaba con lámparas. Los tres tipos de ensayos realizados fueron:

a.- Ensayo "a":

En este ensayo llevado a cabo en el 2005 se evaluó el impacto de las diferentes concentraciones de los extractos acuosos de las cubiertas sobre el cultivo de tomate desarrollándose sobre el sustrato descrito anteriormente, esterilizado y sin esterilizar, con la finalidad de estudiar las posibles relaciones entre los potenciales compuestos

alelopáticos y los microorganismos presentes en el suelo. La esterilización del sustrato se realizó por vapor de agua durante 4 horas.

En este caso se utilizaron macetas de 2000 ml de capacidad. Se utilizó un diseño experimental de tipo factorial completamente aleatorizado, con tres factores: (1) tipo de extracto, que en total fueron 4 (*Artemisia*, cebada, maíz y arroz); (2) concentración del extracto, con 6 niveles de concentración (0, 20, 40, 60, 80 y 100%) y (3) condición de suelo, con dos niveles, esterilizado y sin esterilizar. Los extractos se aplicaron en dos ocasiones, a 7 y 14 días después del trasplante (DDT), aplicando 100 ml por planta cada vez; este volumen de agua era suficiente para saturar el suelo con el extracto, asegurando así una eficiente absorción del mismo por las raíces del cultivo. Las variables evaluadas en este ensayo fueron: (1) concentración de clorofila en las hojas (con medidor Minolta® SPAD 502), la cual se evaluó en 4 hojas totalmente desarrolladas de cada planta; (2) altura de la planta, desde la base del tallo hasta la última ramificación; (3) número de ramas por planta, (4) número de flores abiertas por planta y (5) peso fresco por planta. Todas estas variables se evaluaron 28 días después de la primera aplicación del extracto.



Figura 4. Vista general del ensayo “a” para la evaluación del potencial alelopático de extractos acuosos de restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre tomate.

b.- Ensayo “b”:

Este ensayo fue instalado durante el año 2005 y se realizaron pequeñas modificaciones al protocolo utilizado en el ensayo anterior, basadas en los análisis de los resultados de dicho ensayo. En este caso no se consideró la condición del suelo, utilizándose sólo suelo sin esterilizar, tal como era recogido del campo.

De formar similar al ensayo anterior se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 tipos de extractos (*Artemisia*, cebada, maíz y arroz) y 6 concentraciones de extractos (0, 20, 40, 60, 80 y 100%). Las aplicaciones de los extractos se realizaron en 4 ocasiones a 5, 8, 10 y 15 DDT, aplicando 70 ml a cada planta en cada ocasión. En este ensayo se utilizaron macetas de sólo 300 ml de capacidad, de manera de lograr que el sistema radical de las plantas exploraran a fondo el sustrato y por ende, absorbieran al máximo los extractos aplicados. A 28 días después de la primera aplicación del extracto se evaluó el peso fresco de las plantas.



Figura 5. Vista general del ensayo “b” para la evaluación del potencial alelopático de extractos acuosos de restos vegetales de cosecha utilizados como cubiertas de del suelo sobre tomate.

c.- Ensayo “c”:

Instalado durante el 2007, este ensayo es similar al ensayo 2; sólo se diferencia en que los extractos fueron aplicados en 5 ocasiones a 8, 12, 16, 20 y 24 DDT y se evaluó tanto el peso fresco como el peso seco a 35 días después de la primera aplicación del extracto.

4.3.2.2.- Evaluación del efecto de las cubiertas de suelo ensayadas incorporadas o no al suelo sobre el desarrollo del tomate

El objetivo principal de estos ensayos fue evaluar la interacción de forma directa entre las diferentes cubiertas de origen vegetal y las plantas del cultivo, que en todos los casos fueron similares a las utilizadas en los ensayos de campo (híbrido ‘PerfectPeel’). En esta etapa de la experimentación se realizaron dos ensayos:

a.- Ensayo “d”:

Este ensayo se llevó a cabo durante el año 2005. En este caso se realizó una simulación en condiciones de invernadero de la interacción directa entre las cubiertas de suelo. Para ello se tomaron cantidades equivalentes a 10 t.ha^{-1} de cada cubierta y se aplicaron en dos formas: (1) sobre el suelo, tal y como se usaría en campo como cubierta y (2) incorporada al suelo, lo que permitió evaluar el efecto alelopático de la cubierta sin modificar de forma importante otras variables, como lo es la temperatura del suelo y la evaporación de agua desde el mismo.

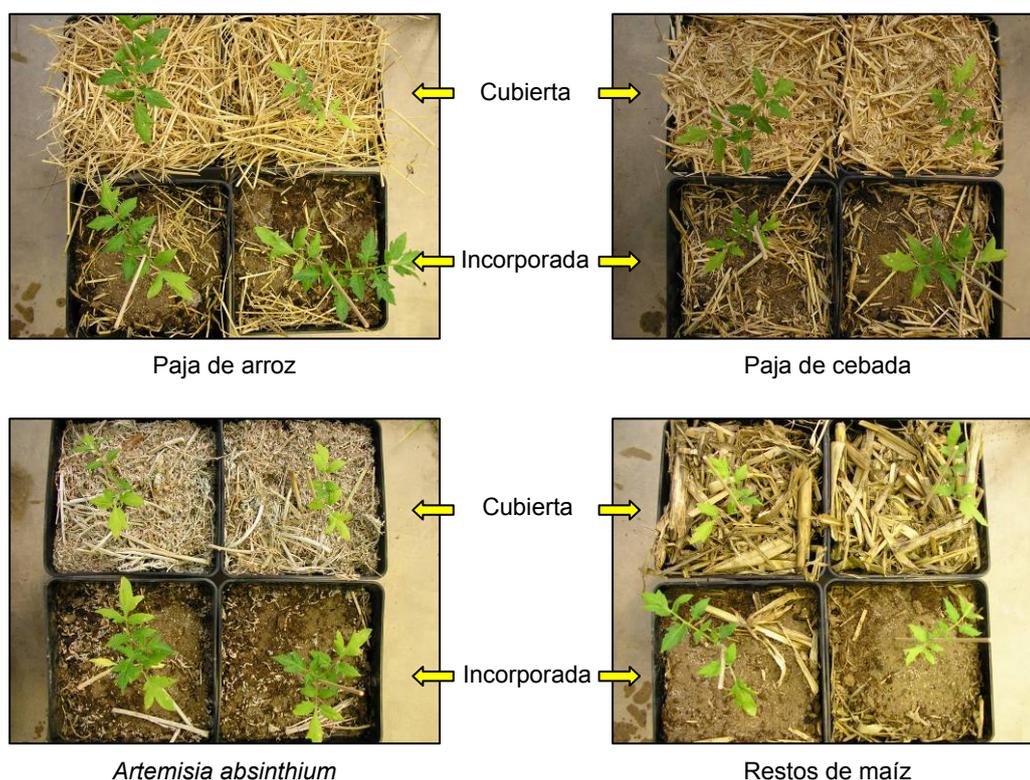


Figura 6. Vista general de los tratamientos aplicados en el ensayo “d” para la evaluación del efecto de las cubiertas incorporadas o no al suelo sobre el desarrollo del tomate.

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño completamente aleatorizado con 6 repeticiones (la unidad experimental fue una planta). Los tratamientos fueron las cubiertas de *Artemisia*, cebada, maíz y arroz todos ellos en las dos formas de aplicación descritas con anterioridad. Se incluyó un control sin restos vegetales en ninguna de las dos formas de aplicación, sumando un total de 9 tratamientos. Las macetas que se utilizaron para el ensayo tenían una capacidad de 7 l y un área de superficie de suelo de $0,04 \text{ m}^2$ ($0.2 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$); éstas se llenaron con suelo del mismo campo experimental donde se instalaron los ensayos de campo y que había sido previamente fertilizado. La incorporación de los materiales al suelo se realizó de forma manual justo antes de trasplantar las plantas. Los restos vegetales que se colocaron como cubiertas fueron

aplicados al siguiente día del trasplante del cultivo. Las plantas fueron mantenidas en condiciones óptimas para su crecimiento, idénticas a las descritas para los ensayos de evaluación del potencial alelopático de los extractos acuosos. La variable evaluada a 28 ddt fue el peso seco de las plantas de tomate.

b.- Ensayo “e”:

Realizado en el año 2007, este ensayo tuvo como objetivo simular el uso de los diferentes materiales vegetales como cubiertas tal y como se utilizan en campo, pero en condiciones de cultivo en macetas y así evaluar el efecto de las mismas sobre las fases tempranas del cultivo. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cinco tratamientos (los 4 tipos de cubiertas y el control) y 6 repeticiones. En este caso se trasplantó el tomate en macetas similares a las utilizadas en el ensayo anterior y después de 7 días se aplicaron las cubiertas a una dosis de 10 t.ha⁻¹. Estas plantas fueron mantenidas a plena exposición de las condiciones ambientales y demás condiciones de siembra similares a las del ensayo de campo del año 2007. Es importante resaltar que en este ensayo el tratamiento correspondiente a los restos de *Artemisia absinthium* fueron utilizados en mezcla con restos de cosecha de maíz, tal como se utilizaron en ese mismo año en el ensayo general de campo (descrito más adelante).



Figura 7. Vista general de los tratamientos aplicados en el ensayo “e” para la evaluación del efecto de las cubiertas incorporadas o no al suelo sobre el desarrollo del tomate.

Las variables evaluadas a 28 días después de la aplicación de los tratamientos (cubiertas) fueron el número de frutos por plantas, el peso fresco de frutos y el peso seco

de las plantas de tomate. Posteriormente se determinó el peso promedio de frutos para cada tratamiento.

4.3.3.- Valoración del uso de cubiertas para el control de malas hierbas en el cultivo de tomate bajo condiciones controladas y de campo

A continuación se describen los ensayos que se realizaron para alcanzar este objetivo. Cabe destacar que el ensayo general de campo, cuya descripción se incluye en este apartado, sirvió de ensayo central e integrador de todas las valoraciones realizadas, ya que en él se reúnen todas las condiciones experimentales para evaluar cada uno de los puntos que se valoraron por separado en los ensayos auxiliares.

4.3.3.1.- Evaluación de la capacidad de control de malas hierbas de restos vegetales utilizados como cubierta de suelo en cámara de cultivo

El objetivo de este ensayo fue evaluar el efecto de las diferentes cubiertas sobre la emergencia de malas hierbas en condiciones controladas y fue llevado a cabo en el año 2005. En este ensayo se aplicaron los diferentes tipos de cubiertas sobre un suelo rico en semillas y propágulos de malas hierbas. El suelo se recolectó de la parcela experimental utilizada en los ensayos de campo previo a su preparación para dichos ensayos y fue dispuesto en bandejas de plástico con drenaje de 0,20 m² de superficie y 0,02 m³ de volumen; la parcela de donde se tomó el suelo había permanecido en barbecho durante algunos años y presentaba alta densidad y variedad en su flora arvense. El suelo fue mezclado con sustrato orgánico y arena en proporción 7:2:1 para dar mayor estructura al mismo y promocionar la germinación y emergencia de las semillas presentes. Adicionalmente se incorporaron 12 tubérculos de *Cyperus rotundus* en cada bandeja (correspondiente a 57 tubérculos.m⁻²), con la finalidad evaluar el efecto de las cubiertas sobre esta especie. Para ello se recolectaron tubérculos en un campo infestado con esta especie, escogiendo los más robustos y sin evidencia de daño físico o por enfermedades; posteriormente los tubérculos que se separaron en grupos de 12, homogéneos por tamaño y con peso promedio de 1,39 g por tubérculo en cada grupo.

Después de preparado el suelo con los tubérculos de *Cyperus rotundus*, sobre el mismo se aplicaron las diferentes cubiertas orgánicas, en una cantidad igual a 200 g del material de cubierta por bandeja, equivalente a una dosis de 10 t.ha⁻¹. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 repeticiones. Cada repetición consistió en una bandeja. Los tratamientos correspondieron a las diferentes cubiertas evaluadas (*Artemisia*, cebada, maíz y arroz) agregando un tratamiento control sin cubierta. Las bandejas se colocaron en una cámara de cultivo con regulación climática, bajo iluminación artificial de 18 horas/día y temperatura de 30 °C de día y 22 °C de noche;

estas bandejas fueron rotadas dos veces por semana dentro de la cámara, bajo un modelo aleatorizado, para evitar los errores experimentales por efecto de diferencias climáticas y, especialmente, de iluminación. No se presentaron problemas con hongos ni otras plagas o enfermedades, por lo que no fueron necesarios controles fitosanitarios.

Las evaluaciones se llevaron a cabo cada 2 días durante 35 días y las variables evaluadas fueron el número de individuos por especie de malas hierbas, agrupadas en gramíneas, ciperáceas y dicotiledóneas (hoja ancha). Al final del ensayo se determinó la masa seca de las cubiertas presentes en las bandejas, con la finalidad de establecer la pérdida de masa de cada material durante el lapso del ensayo.



Figura 8. Vista general del ensayo para la evaluación de la capacidad de control de malas hierbas de restos vegetales utilizados como cubierta de suelo en cámara de cultivo.

4.3.3.2.- Ensayo general de campo

Este ensayo fue el centro de la experimentación en la investigación, ya que en él se aplicó la técnica en condiciones reales de producción y se evaluaron múltiples aspectos concernientes al comportamiento de las cubiertas y del cultivo. Cabe destacar que el modelo de ensayo fue repetido 3 años consecutivos (2005, 2006 y 2007) en el mismo campo experimental en España, mientras que un modelo similar fue establecido en el año 2007 en Venezuela. Para facilitar la descripción de los ensayos, en adelante se utilizará como descriptivo “Zaragoza” para referirse a los ensayos instalados en España, mientras “Quíbor” hará referencia al ensayo en Venezuela. Es importante comentar que el ensayo llevado en Quíbor se realizó bajo un manejo ecológico de plagas y enfermedades, utilizando para ello diferentes técnicas propias de este tipo de agricultura.

a.- Diseño del experimento

En Zaragoza se utilizó un diseño de bloques al azar con 10 tratamientos y 4 repeticiones. La unidad experimental básica (parcela) consistió de cuatro líneas de cultivo

de 4 metros de largo de tomate híbrido 'PerfectPeel' (Petoseed®), sembrados en mesas de 0,5 m de ancho y 25 cm de alto, separadas 1 m entre sí. El área de cada parcela fue de 20 m² y el área total bajo ensayo (incluyendo borduras) fue de 1092 m². El híbrido 'PerfectPeel' es un tomate de crecimiento determinado diseñado para uso en la industria, con excelentes características de concentración de sólidos y una fuerte piel que permite su manipulación con un bajo nivel de daño.

En el anexo 1 puede encontrarse una representación gráfica del ensayo en Zaragoza y el ordenamiento espacial de los tratamientos en el mismo. La figura 9 ofrece una vista general del ensayo instalado en Zaragoza. Es importante destacar que se realizó un marcaje del campo experimental para poder ubicar cada tratamiento en la parcela correspondiente en los tres años consecutivos de ensayo.



Figura 9. Vista general del ensayo instalado en Zaragoza.

Por su parte, en Quibor se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 8 tratamientos y 4 repeticiones. En este caso cada unidad experimental consistió de un hilo de siembra de tomate híbrido 'ShanTY' (Hazera®) sobre una mesa de 0,90 m de ancho, 25 cm de alto, 20 m de largo y separadas 1 m entre sí, para un total de 18 m² por línea (unidad experimental) y 1455,9 m² en todo el ensayo, incluyendo las borduras. El híbrido 'Shanty' es un tomate de crecimiento determinado para uso en industria, pero con características adecuadas para su uso en consumo fresco, condición que es favorable en el mercado de tomate venezolano; su propiedad más importante es la resistencia al virus

mosaico del rizado amarillo del tomate (TYLCV), una enfermedad común en el área donde se instaló el ensayo debido a la alta incidencia de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) agente transmisor del virus. En las condiciones de producción de Quíbor las plantas de crecimiento determinado se tutorean para facilitar las labores fitosanitarias y aumentar la densidad de siembra.

En el anexo 2 se encuentra una representación gráfica del ensayo instalado en Quíbor y el ordenamiento espacial de los tratamientos en este caso, mientras que en la figura 10 se puede observar una vista general del ensayo. Nótese la presencia en campo de las diferentes cubiertas.



Figura 10. Vista general del ensayo instalado en Quíbor en una fase inicial de desarrollo del cultivo.

b.- Tratamientos aplicados

Con la intención de comparar de la forma más correcta los resultados que se obtuvieran, se procuró que los tratamientos aplicados en ambas localidades fueran lo más similares posible; sin embargo, existieron diferencias en algunos de ellos, especialmente por la disponibilidad de recursos locales diferenciados y la experiencia previa que se poseía a medida que se avanzó en los ensayos, lo que incluyó algunas modificaciones en los últimos años de ensayos.

En Zaragoza se aplicaron 10 tratamientos:

1. acolchado con paja de arroz
2. acolchado con paja de cebada

3. acolchado con restos de cosecha de maíz (tallos y hojas)
4. acolchado con restos frescos de plantas de *Artemisia absinthium*
5. acolchado con plástico biodegradable (Mater Bi® 15 micras de espesor)
6. acolchado con papel (Saikraft® 200 g.m⁻²)
7. acolchado con polietileno negro (15 micras de espesor)
8. herbicida (rimsulfuron en 2005 y rimsulfuron+metribuzina en 2006 y 2007)
9. desherbado manual (dos veces)
10. testigo sin desherbar.

Por su parte, en Quíbor se aplicaron 8 tratamientos:

1. acolchado con paja de arroz
2. acolchado con restos de cosecha de maíz (tallos y hojas)
3. acolchado con serrín de diferentes maderas
4. acolchado con papel (tipo Kraft y 200 g.m⁻²)
5. acolchado con polietileno gris-negro (25 micras)
6. herbicida (rimsulfuron+metribuzina)
7. desherbado manual (dos veces)
8. testigo sin desherbar.

En ambos casos los restos vegetales (incluyendo el serrín de madera) se aplicaron en dosis de 1 kg.m⁻² a ambos lados de la línea del cultivo, sobre la mesa y a los lados de la misma (talud) a los 14 días después del trasplante (DDT). En los casos de las pajas de cebada y arroz y los restos de cosecha de maíz se aplicó la dosis antes mencionada incluyendo el contenido de humedad de dichos materiales al momento de la aplicación (entre 5 y 9%); a diferencia de ello, en el caso de los restos de *Artemisia absinthium*, que fueron colocados justo después de su recolección en campo, es decir, como biomasa fresca, se aplicó una porción a los 14 DDT y otra porción a los 28 DDT, hasta completar la dosis total de 1 kg.m⁻², pero en este caso el peso fue corregido a un nivel de humedad similar al de los otros materiales de acuerdo al contenido de humedad que presentaban los restos de las plantas. En el año 2007 y debido a la observación de la baja eficiencia en el recubrimiento del suelo por la *Artemisia* después de deshidratarse, el tratamiento correspondiente a *Artemisia absinthium* fue sustituido con una mezcla de *Artemisia* y restos de cosecha de maíz en proporción 1:1, de manera de aprovechar el potencial alelopático de la *Artemisia* y mejorar su capacidad de recubrimiento con la incorporación de los restos de cosecha del maíz. En Quíbor los restos de cosecha de maíz se pasaron por una picadora de pastos antes de su colocación, mientras que en Zaragoza los restos fueron colocados sobre el suelo tal y como fueron recogidos y

empacados en el campo después de la cosecha mecánica del maíz. En todos los casos las aplicaciones se hicieron de forma manual.

En los años 2005 y 2006 en Zaragoza fueron aplicadas las cubiertas de restos vegetales también en los espacios entre líneas del cultivo, no siendo así en el año 2007, ya que en esa ocasión se realizó un control químico de malas hierbas en dichos espacios con el herbicida glifosato. Sin embargo, esta variación no afectó la zona de toma de muestras para las evaluaciones de malezas. En Quíbor el control de malas hierbas entre hileras de siembra se realizó de forma manual.

Tanto las cubiertas de papel, Mater-Bi® y polietileno se colocaron cubriendo sólo el ancho de la mesa de cultivo, realizando un control de malas hierbas en las zonas entre líneas del cultivo; este control varió entre manual, mecánico ó químico. En ambas localidades éstas cubiertas fueron colocadas de forma manual debido a que se trataba de líneas cortas, aunque era posible la mecanización de la actividad.

Los tratamientos correspondientes a herbicidas se realizaron para ambas localidades de la siguiente forma: rimsulfuron (25% WG DuPont®) a razón de 15 g i.a.ha⁻¹ 14 días después del trasplante (DDT) ó rimsulfuron (25% WG DuPont®) en dosis 12,5 g i.a.ha⁻¹+metribuzina (70% WP DuPont®) a 0,70 kg i.a. ha⁻¹ 18 DDT. Este tratamiento es uno de los más comunes para el control de malas hierbas en tomate en ambas localidades. En Zaragoza se utilizó un pulverizador de precisión con presión constante suministrada por una botella de CO₂, equipado con 4 boquillas TeeJet 11003 VK en una barra de 2 m de longitud, calibrado para descargar 330 l.ha⁻¹, mientras que en Quíbor se utilizó un pulverizador de mochila con bomba manual dotada de boquillas TeeJet® 8002 calibrada para una descarga de 350 l.ha⁻¹. En ambos casos la presión de aplicación fue de 2 kg.cm⁻².

c.- Condiciones de clima y suelos

Aunque existen grandes diferencias de clima y suelos entre las localidades donde se instalaron los ensayos, la intención al escoger estos lugares fue que se asemejaran en la mayor medida posible, con las diferencias propias de la gran variación en latitud.

En cuanto a las condiciones de clima, en el anexo 3 se resumen los principales datos meteorológicos en los períodos de los ensayos de campo para Zaragoza, donde se observa claramente que el año 2005 fue el de mayor temperatura, menor humedad y menor precipitación; además, en este año se registraron las mayores velocidades medias de viento, por lo que es posible afirmar que fue el año con mayores limitaciones climáticas para el cultivo.

Por su parte en Quíbor se registraron algunas precipitaciones inusuales para el período en el que se instaló el ensayo, presentándose además temperaturas un tanto más bajas que los registros históricos en períodos similares en la zona. Un resumen de los datos meteorológicos durante el período de ensayo en Quíbor puede ser consultado en el anexo 4.

En los cuadros 1 y 2 quedan reflejadas las más importantes características del suelo en ambas localidades. El suelo de Zaragoza es clasificado como un Typic xerofluvent, mientras el de Quíbor es un inceptisol perteneciente a la serie Quíbor.

Cuadro 1. Características físico-químicas del suelo donde se instaló el ensayo de campo en Zaragoza.

Profundidad	Fertilidad					Granulometría (%)			
	pH	CE	%MO	P	K	Arena	Limo grueso	Limo fino	Arcilla
0-15 cm	8,15	0,34	2,07	15,9	240	38,38	16,48	28,33	16,81
15-30 cm	8,29	0,47	2,15	10,3	186	35,08	16,56	25,58	22,78

Profundidad	Cationes de cambio			Cationes		
	Mg ⁺⁺	CE	% saturación	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0-15 cm	1.37					
15-30 cm	1.03	3.55	39.5	30.68	6.33	5.27

pH al agua 1:2,5; C.E. 1:5 (ds.m⁻¹); MO= materia orgánica; P (fósforo) y K (potasio) en ppm; Mg (magnesio) en meq/100 g de suelo.

Cuadro 2. Características físico-químicas del suelo donde se instaló el ensayo de campo en Quíbor.

Profundidad	Fertilidad						Granulometría (%)		
	pH	CE	%MO	P	K	Mg ⁺⁺	Arena	Limo	Arcilla
0-20 cm	7,4	1,88	3,7	85	320	205	18	47	35

*Presencia de carbonatos, Ca⁺⁺ > 3000 mg/kg

pH al agua 1:2; C.E. 1:2 (ds.m-1); MO= materia orgánica; P (fósforo), K (potasio) y Mg⁺⁺ (magnesio) en ppm

A pesar de que ambos suelo se clasifican como de textura franca, puede observarse una diferencia importante en los contenidos de arcillas, ya que el suelo en Quíbor posee un nivel mucho mayor al de Zaragoza; esta alta proporción de arcilla en Quíbor resulta en dificultades para su manejo, ya que tiende a agrietarse y posee una muy baja infiltración de agua. Por su parte en Zaragoza predominan los limos finos. A pesar de estas condiciones ambos suelos no presentaron limitaciones de importancia para el favorable desarrollo del cultivo.

d.- Manejo del cultivo

La preparación del suelo previo a la instalación de los ensayos fue similar en ambas localidades, aunque con pequeñas diferencias. En Zaragoza en el año de inicio de los ensayos (2005) se preparó el suelo con un pase cruzado de subsolador, seguido de tres pases de grada de disco y de un pase de fresadora, hasta que se dejó el suelo bien mullido a una profundidad de al menos 15 a 20 cm. En los siguientes años de ensayo

(2006 y 2007) la preparación del suelo fue similar, pero sin la utilización del subsolador. Por su parte en Quíbor se realizó una preparación convencional con tres pases de gradas de disco; posterior a ello se distribuyó y se incorporó materia orgánica compostada (mezcla de estiércol bovino y cama de pollo) a dosis de 30 t.ha^{-1} , en especial para mejorar sus características físicas por tratarse de un suelo joven, de baja estructuración, con tendencia al encostramiento y agrietamiento.

Posterior a la preparación del suelo se procedió a la conformación de las mesas para la siembra del cultivo, las cuales se realizaron de forma mecanizada con la conformadora de mesas acoplada al tractor. En ambos casos se procuró que la altura de la mesa no fuera menor a 25 cm y que en parte superior fuera lo mas plana posible, de manera que la distribución del agua fuera homogénea en toda la superficie superior de la misma. Esta conformación plana también es deseable para la correcta colocación de las cubiertas, en especial las láminas de plástico y papel.

- *Trasplante*

En ambas localidades las plantas utilizadas para el trasplante fueron obtenidas de viveros profesionales a los cuales se les había suministrado previamente las semillas. El promedio de días de las plantas en los viveros fue de 25 días desde su siembra hasta su traslado a campo. En Zaragoza este período varió entre años de acuerdo a las condiciones climáticas.

Después de marcar e identificar las parcelas o líneas de cultivo, en ambas localidades se realizó el trasplante del tomate cuando el mismo poseía de 2 a 3 hojas verdaderas, colocando 5 plantas por metro lineal de siembra. Esta labor se realizó de forma manual. En Quíbor las raíces de las plántulas fueron sumergidas en un preparado con *Trichoderma* spp., un hongo hiperparásito competitivo que tiene comprobada acción sobre hongos patógenos del suelo, entre los que cabe mencionar *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Phytophthora* y *Fusarium* (Stefanova *et al.*, 1999). Tras el trasplante se realizaron las labores fitosanitarias y de mantenimiento apropiadas, manteniendo en todo momento las mejores condiciones posibles para un óptimo desarrollo del cultivo.

- *Riego*

El sistema de riego utilizado en ambas localidades fue por goteo, utilizando para ello cintas de riego con goteros separados a 20 cm entre sí con caudal de 5 l.h^{-1} a 0,55 bar de presión. En Zaragoza se diseñó un sistema de riego de tal forma que cada parcela experimental pudiera ser regada de manera independiente de las otras, esto con la finalidad de estimar el gasto de agua de cada tratamiento y poder controlar que el factor agua no influyera en los resultados de desarrollo y producción del cultivo, ya que es

conocido el efecto que poseen las cubiertas del suelo sobre algunos de los factores que definen la disponibilidad de agua para las plantas, como la evaporación y la temperatura del suelo; por ello el riego se hacía a demanda para cada tratamiento, con la intención de que todos los tratamientos dispusieran de la misma cantidad de agua.

Los ensayos preliminares indicaron que un porcentaje de humedad de entre 25 y 30 % era el apropiado para mantener el suelo en condiciones de capacidad de campo, por lo que siempre se intentó mantener el suelo dentro de esos rangos de humedad, suministrando la cantidad de agua necesaria para cada tratamiento en particular. Para la toma de decisión de la cantidad y la frecuencia del riego en cada tratamiento se utilizó como apoyo sistemas para la determinación rápida de la humedad del suelo: en el año 2005 se instaló una batería de bloques de yeso a 30 cm de profundidad en las parcelas experimentales de dos de las cuatro repeticiones presentes, mientras que en los años 2006 y 2007 se utilizaron sensores de humedad Decagon® ECH₂O-20 insertados entre 0 y 20 cm de profundidad en el suelo en uno de los bloques experimentales (uno por tratamiento), lo que permitió estimar el nivel de agua en el suelo y decidir el momento apropiado para el riego en cada tratamiento. En ambos casos se procedió a la calibración previa de los dispositivos utilizados para la determinación de la humedad del suelo en la parcela experimental. Un esquema del sistema de riego utilizado en Zaragoza puede ser consultado en el anexo 5.

En el ensayo de campo instalado en Quíbor se dispuso de una línea de riego por cada tratamiento (hilera de siembra), sin diferenciar de forma precisa la cantidad de agua que se aplicó en los tratamientos. Sólo se dispuso de una llave de paso al inicio de cada línea para controlar que no hubiera un exceso de humedad en aquellos tratamientos donde el gasto de agua era menor, especialmente en las líneas de siembra con polietileno. En este caso no se cuantificó el gasto de agua. Se realizaron tres riegos diarios con duración de 20 minutos cada uno, con el objetivo de garantizar la buena percolación del agua, debido a que el suelo en esta localidad tiene baja tasa de infiltración.

- *Labores fitosanitarias*

En cuanto a las labores fitosanitarias, en Quíbor se utilizaron una serie de productos biológicos para el control de diferentes plagas, en especial la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), la principal plaga del cultivo en la zona. Se realizaron aplicaciones de Sukrina CE-75® (azadiractina) y de *Beauveria bassiana* para el control de la mosca blanca y otras plagas, así como una liberación de crisopas (*Chrysoperla* spp.), un controlador biológico que en su estado larval es altamente efectivo en el control de la

mosca blanca. El manejo biológico del cultivo permitió la proliferación de otros controladores biológicos, en especial de mariquitas (*Coccinella septempunctata*), los cuales en su estado larval son excelentes depredadores de pulgones y de otros insectos. Para prevenir los ataques por hongos realizó la aplicación foliar de sulfato de cobre y fosfoyeso. También fueron utilizadas trampas con feromonas de diferentes tipos para el control de perforadores del fruto y trampas de colores (amarillas y blancas) para el control no selectivo de insectos voladores. En este ensayo se utilizaron cultivos trampa y barreras vivas en cuadrados concéntricos colocados de adentro hacia fuera alrededor del ensayo; los cultivos utilizados fueron (ordenados desde los mas cercanos al cultivo hacia los mas lejanos): girasol ornamental (para flores), berenjena, cebolla, hinojo, albahaca, leguminosas y girasol de semilla. Todos estos cultivos fueron sembrados y trasplantados en mesas de 80 cm de ancho a doble hilera con dos cintas de riego.

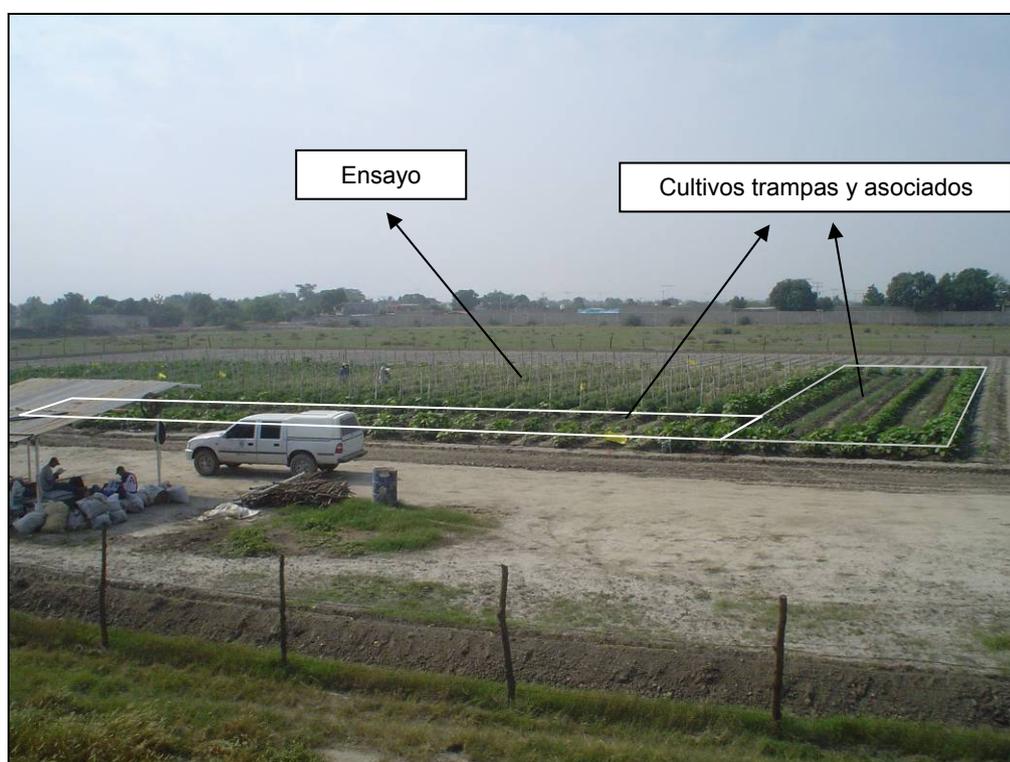


Figura 11. Imagen del ensayo en la localidad de Quíbor donde es posible apreciar los cultivos asociados y trampas utilizados para el manejo biológico de plagas. Tanto en la parte posterior como en la parte a la derecha de la imagen también se ubicaban cultivos asociados y trampa, pero no son visibles.

El conjunto de técnicas aplicadas en el ensayo de Quíbor permitió el crecimiento satisfactorio del cultivo del tomate en una zona donde éste había sido abandonado por la alta incidencia de plagas, lo que permitió demostrar a los agricultores que un manejo integrado y no químico de plagas puede ser viable inclusive en una situación de extrema presión de plagas y enfermedades; además, los cultivos asociados y de barrera constituyeron una opción de diversificación en la producción.

Por su parte, en Zaragoza se realizaron controles preventivos de hongos con la aplicación de fungicidas a base de cobre; sin embargo es necesario aclarar que no se presentaron problemas significativos de enfermedades en los tres años de ensayos. Debido a lo común que es en la zona, se instalaron trampas tipo 'funnel' con feromonas para el control de *Helicoverpa armigera* (Lepidóptero, noctuido) y se realizaron conteos semanales de los individuos atrapados; sólo en el primer año de ensayos (2005) fue necesario el control químico de esta plaga, el cual se hizo con el insecticida a base de azaridactina denominado Align®, de la empresa Sipcam Inagra.

- *Fertilización*

En Zaragoza el plan de fertilización se inició con el aporte de un abono complejo 15-15-15 en dosis de 500 kg.ha⁻¹, que se incorporó al suelo durante el último pase de fresadora. En los tres años de ensayos la fertirrigación se realizó utilizando como base un requerimiento del cultivo de 250 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, 100 kg.ha⁻¹ de fósforo y 300 kg.ha⁻¹ de potasio. Las fuentes de nutrientes utilizadas fueron los fertilizantes Hakaphos® verde y naranja. En total se aportaron 210 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, 105 kg.ha⁻¹ de fósforo y 315 kg.ha⁻¹ de potasio, para una cosecha estimada en 115 t.ha⁻¹. El Hakaphos® verde (15-10-15 + micronutrientes) fue utilizado en los primeros 50 a 60 días del cultivo, mientras el Hakaphos® naranja (15-5-30 + micronutrientes) fue utilizado desde los 50 a 60 días hasta unos 8 días antes de la cosecha, momento en el cual se suspendió el riego para favorecer la maduración de los frutos.

En Quibor después de la aplicación inicial de abono orgánico (30% materia orgánica), fueron aplicados fertilizantes orgánicos (humus líquido) a través del riego durante los primeros 15 días después del trasplante y posteriormente se inició la fertirrigación mineral con urea (46% N) y nitrato de potasio (13-00-46) basados en las necesidades del cultivo y la disponibilidad de nutrientes en el suelo de acuerdo al cuadro 3. Los cálculos de las necesidades se realizaron según el potencial del tomate híbrido utilizado para un rendimiento de 125 t.ha⁻¹.

Cuadro 3. Requerimientos nutricionales (Nitrógeno-N, Fósforo-P₂O₅ y Potasio-K₂O) del cultivo tomate, la disponibilidad por parte del suelo (0-20 cm) y su necesidad de fertilizantes en kg.ha⁻¹ en Quibor.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Requerimiento</i>	250	55	444
En el suelo	72	151	255
Necesario	180	0	190

- *Cosecha*

En ambas localidades la cosecha se realizó de forma manual, en una recolección única entre 95 y 110 días después del trasplante. En Zaragoza en dos ocasiones previas

a la cosecha se realizaron evaluaciones del porcentaje de frutos maduros y sólo se procedió a la cosecha (única) cuando dicho porcentaje superó el 80%. En Quíbor se realizó una cosecha única a 92 días después del trasplante, a pesar de que la variedad utilizada y la forma de conducción del cultivo (plantas entutoradas) permitían cosechas múltiples.

e.- Variables evaluadas:

Las variables evaluadas en el ensayo de campo pueden ser separadas en tres grandes grupos: (1) variables asociadas al impacto de las cubiertas evaluadas sobre las malas hierbas, (2) variables de desarrollo y rendimiento del cultivo y (3) variables del manejo del cultivo asociadas a la implementación de la técnica.

- *Variables asociadas al impacto de las cubiertas evaluadas sobre las malas hierbas*

Para evaluar la eficacia de control sobre las malas hierbas en ambas localidades a 21 días después del tratamiento (ddt) se determinó el número de individuos de cada especie; también fue evaluado de forma visual el porcentaje del suelo cubierto por malas hierbas a 21, 42 y 63 ddt. En Zaragoza a 63 ddt se determinó el peso seco (a 70 °C hasta peso constante) de la biomasa del conjunto de las malas hierbas presentes. En Quíbor no se evaluó el peso de la biomasa de malas hierbas.

En Zaragoza las muestras se tomaron en 2 puntos al azar en las dos líneas centrales de cada parcela utilizando cuadros de 1 x 0,5 m (0,5 m²); en el ensayo correspondiente al año 2007 se utilizó un marco de 1 x 0,2 m (0,2 m²), debido a que, por la experiencia en los años anteriores, se observó que esa área era suficiente para evaluar las malas hierbas que tenían una influencia directa sobre el cultivo.

En el ensayo ubicado en Quíbor se tomaron tres muestras por cada repetición distribuidas al azar en los 20 metros de longitud de la línea, utilizando un marco de 1 x 0,5 m (0,5 m²). En ambos casos los marcos eran apoyados sobre los tallos de la hilera del cultivo, para así evaluar la zona más cercana al mismo, sobre la mesa de siembra, tal como se muestra en la figura 12.

Después de determinar el número de individuos por especie a 21 ddt se determinaron los parámetros poblacionales descritos en el cuadro 4: densidad (individuos.m⁻²) frecuencia (%) y dominancia (%) para las diferentes especies presentes; posteriormente se determinó el Índice de Valor de Importancia (IVI) para cada especie de acuerdo a la propuesta de Páez (2001). El IVI es un formato numérico que permite asignarle a cada especie su categoría de importancia en base a su condición fitosociológica, es decir, a su relación con las otras especies presentes en un área

determinada; este formato es útil para conocer la importancia de una especie de acuerdo a sus parámetros poblacionales y el análisis de cambios en la flora arvense en un área determinada.



Figura 12. Colocación del marco durante el proceso de toma de muestras de malas hierbas.

Cuadro 4. Expresiones matemáticas utilizadas para el cálculo de los parámetros poblacionales de malas hierbas en el ensayo de campo.

Parámetro Poblacional	Expresión para su cálculo
Densidad (De)	$\frac{\text{Nº de plantas por especie}}{\text{Unidad de área (m}^2\text{)}}$
Densidad relativa (Dr)	$\frac{\text{Densidad por especie}}{\text{Densidad total}}$
Frecuencia (F)	$\frac{\text{Número de muestras en las que aparece la especie} \times 100}{\text{Número total de muestras}}$
Frecuencia relativa (Fr)	$\frac{\text{Frecuencia por especie}}{\text{Frecuencia total}}$
Dominancia (Do)	$\frac{\text{Número de individuos de una especie} \times 100}{\text{Número total de individuos de todas las especies}}$
Dominancia relativa (dr)	$\frac{\text{Dominancia por especie}}{\text{Dominancia total}}$
IVI	Dr + Fr + dr

Para determinar las especies de mayor importancia, ya sea en el área total bajo estudio o en una parcela en particular, se determinó el porcentaje que representa el IVI de cada especie con respecto al IVI total (sumatoria); posteriormente se considerará a especies importantes a aquellas que abarcaban hasta el 80% del IVI total.

- *Variables de desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate*

Desarrollo del cultivo: Con el fin de evaluar el efecto de los acolchados sobre el desarrollo del cultivo de tomate, en ambas localidades se determinaron las siguientes variables a los

35 días después del trasplante: (1) altura de plantas, tomada desde el suelo hasta la última ramificación del tallo; (2) número de flores abiertas; (3) número de frutos presentes, donde se tomaron todos los frutos sin importar su tamaño; (4) peso de frutos y (5) peso seco de plantas sin frutos. Las plantas se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso constante. En el ensayo de Quíbor no se determinó la altura de plantas, ya que para esa fecha ya se había procedido al entutorado del cultivo. Todas estas variables fueron medidas en cuatro plantas dentro de cada unidad experimental.

Producción del cultivo: En cuanto al rendimiento del cultivo, en ambas localidades se tomaron al azar 6 plantas por unidad experimental y se evaluaron los siguientes parámetros: (1) peso de frutos maduros; (2) peso de frutos verdes, tomando para ello frutos no maduros, pero de tamaño comercial; (3) peso de frutos de descarte (destrío), donde se tomaron frutos pequeños y en estado de putrefacción y (4) peso de 100 frutos maduros, o en su defecto el número total de frutos maduros si éste era menor de 100 y se determinaba el peso. Basados en estos parámetros, posteriormente se determinó la producción total (peso de frutos maduros + peso de frutos no maduros) por planta, el porcentaje de frutos maduros en base al peso de la producción total (relación porcentual entre frutos maduros y no maduros), el peso promedio por fruto maduro y el porcentaje de frutos perdidos (relación porcentual entre frutos de destrío y frutos maduros+no maduros).

Calidad del fruto: En el año 2005 en Zaragoza se tomaron muestras de frutos maduros en tres de las cuatro repeticiones del ensayo y se determinaron los siguientes parámetros de calidad: pH, sólidos solubles (°Brix), coloración (escala CIE y escala Hunter) y residuo seco (%). En Quíbor no se determinaron parámetros de calidad de los frutos cosechados.

- *Variables del manejo del cultivo asociadas al uso de las cubiertas evaluadas*

Gasto de agua: Se determinó la cantidad de agua utilizada para riego en grupos similares de tratamiento, regando cada parcela independientemente, apoyándose en la determinación del agua disponible en el suelo en cada parcela. Esta variable sólo fue evaluada en Zaragoza. La cantidad de agua aplicada en el riego fue determinada por contadores de caudal (Conthidra CU2520c) ubicados en cada una de las 4 líneas principales de riego de las repeticiones (bloques) presentes, las cuales alimentaban las líneas secundarias de cada parcela experimental. En cada ocasión que se agregaba o retiraba el riego a alguna parcela experimental se registró la cantidad de agua en cada uno de los contadores, para así llevar registro del consumo de agua en cada grupo de tratamientos.

Impacto sobre algunas características del suelo: De manera de poder monitorear la evolución del impacto que se produce sobre el suelo con la aplicación continua de las cubiertas ensayadas, previo a la colocación de dichas cubiertas en cada año de ensayo, en Zaragoza se tomaron muestras de suelo de 0 a 25 cm de profundidad de forma compuesta en dos puntos de cada parcela experimental. En estas muestras se determinaron los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica (%) y fósforo, potasio y magnesio (ppm).

De similar manera se colocaron una serie de termómetros automatizados (Tinytag TGP-4017) programados para registrar la temperatura del suelo cada 15 minutos. Estos termómetros fueron enterrados en los primeros 5 cm del suelo en el centro de uno de los hilos de siembra centrales de cada parcela experimental de uno de los bloques del diseño de campo. Este sistema de termómetros permitió determinar la temperatura del suelo para cada tratamiento durante la duración del ensayo.

4.3.4.- Valoración de algunos aspectos económicos de la aplicación de la técnica para cada uno de los materiales ensayados

En este aparte se realizó un análisis de costos (López *et al.*, 2004). Al utilizar la metodología del estudio de costos se determinó el beneficio promedio para los tres años de ensayo en cada tratamiento aplicado, que no es más que la diferencia entre la corriente de ingresos y gastos, y por tanto, es un beneficio bruto anual sin la consideración del pago de impuestos. También se calculó el umbral de rentabilidad, que se define como el nivel de producción que es necesario para cubrir los gastos.

4.3.5.- Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos se utilizaron diferentes metodologías, entre las que destaca el análisis de la varianza. Para la aplicación del análisis de varianza, previamente fueron comprobados los supuestos de normalidad, homogeneidad de la varianza e independencia de los errores. En los casos donde no se cumplía la normalidad en los datos se determinó el valor de *Lambda* en la prueba gráfica de Box-Cox como apoyo para realizar la transformación más apropiada de los datos. Las pruebas de medias escogidas en los casos de análisis de varianza significativa fueron la de Tukey o la LSD (menor diferencia significativa).

Para la realización de los gráficos se utilizó el programa informático Microsoft® Office EXCEL 2003 y los paquetes estadísticos utilizados en los diferentes análisis fueron MINITAB v.13.32, ESTATISTIX v.8.0 y SPSS v.13.0.

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- CARACTERIZACIÓN DE LAS CUBIERTAS DE SUELO EVALUADAS

5.1.1.- Capacidad de recubrimiento del suelo por los restos vegetales utilizados como cubiertas

Los datos obtenidos en los ensayos realizados en esta determinación sirven como base para la toma de decisiones en la elección de los materiales más apropiados para su uso como cubiertas de suelo en relación con la disponibilidad de los mismos. En este caso en particular los ensayos ayudaron a decidir la dosis, es decir, la cantidad de restos vegetales por unidad de superficie ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) aplicada en el ensayo general de campo. En la figura 13 se resume la capacidad de recubrimiento del suelo por estos materiales evaluados de acuerdo a la relación dosis/porcentaje de cobertura del suelo.

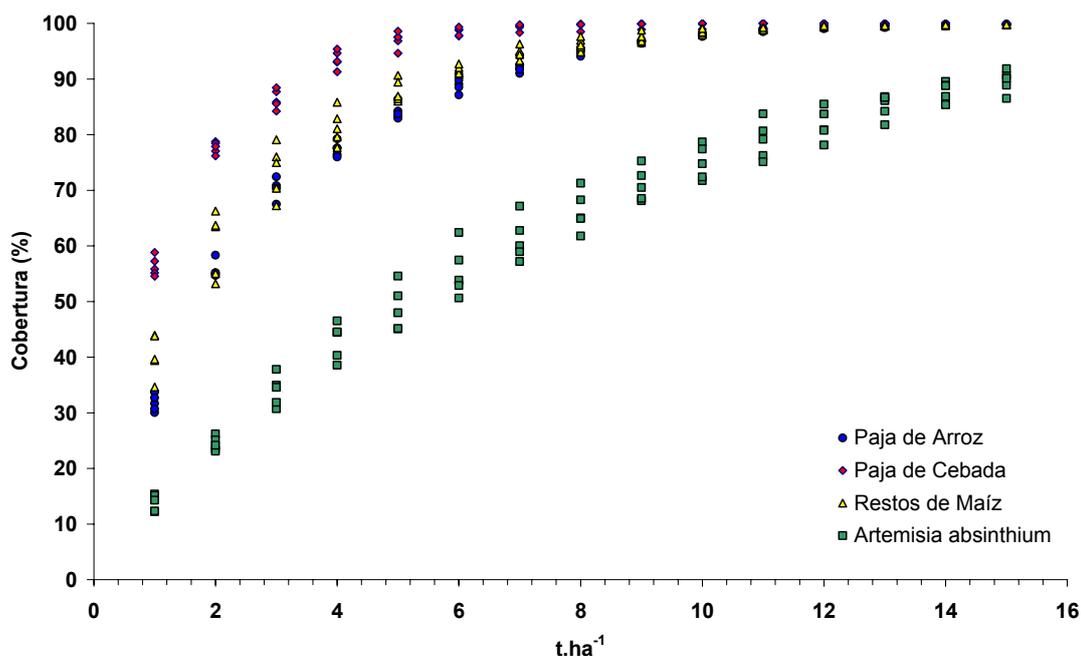


Figura 13. Relación dosis/porcentaje de cobertura para los diferentes restos vegetales evaluados como cubiertas de suelo.

En los resultados es posible apreciar que, tal como lo indica Teasdale (2003), la aplicación de restos vegetales como cubiertas posee una importante limitación: inclusive a altas dosis de aplicación siempre existirá un espacio no cubierto, que puede ubicarse entre 1 y 2 %, dependiendo del material. Esta condición implica que es necesario decidir la cantidad de material que es apropiada colocar, ya que una pequeña cantidad puede favorecer la emergencia de malas hierbas (Teasdale, 2003), mientras que una elevada cantidad puede ser inmanejable desde el punto de vista

práctico y económico. Otro aspecto interesante que resalta en la figura 13 es que tanto la paja de arroz como la de cebada que se han evaluado, poseen menor variabilidad en su capacidad de cubrir el suelo de acuerdo a la masa aplicada que los otros materiales, debido a la mayor homogeneidad en el tamaño de los componentes del residuo. Esta condición es importante a la hora de decidir la forma en que se aplicará el residuo, ya que una opción puede ser el repicado del material antes de su aplicación, para así aumentar la homogeneidad de las partículas que le componen. Esta práctica no sólo puede mejorar la capacidad de recubrimiento del suelo al aumentar la superficie de contacto entre la cubierta y el suelo, sino que además facilitaría su manejo para la aplicación, ya sea mecánica o manual. Sin embargo, y a pesar de las ventajas que pueda traer el repicar los materiales, el costo que supone el procesar estos materiales para su uso como cubierta deberá ser evaluado desde el punto de vista económico para determinar su pertinencia o no. También hay que considerar que las partículas más pequeñas tenderán a degradarse con mayor rapidez (Angers y Recous, 1997), haciendo que la duración de la cubierta sea menor.

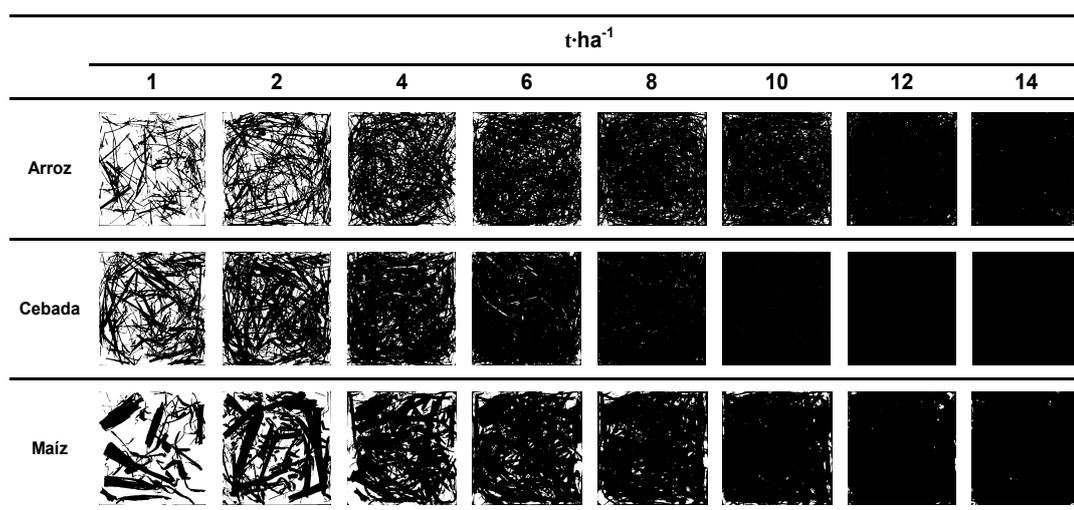


Figura 14. Imágenes digitales del porcentaje de cobertura alcanzado por diferentes restos vegetales ensayados como cubiertas de suelo en diferentes dosis.

Si bien este estudio no fue tan profundo como el realizado por Teasdale y Moler (2000), algunos resultados coincidentes corroboran que la homogeneidad de los componentes del material utilizado como acolchado mejora su capacidad de cubrir el suelo; sin embargo, esta capacidad no es la única razón que controla la reducción de la emergencia de las malas hierbas, ya que en este fenómeno influyen otras características propias de la cubierta (índice de extinción de la luz, por ejemplo) o de las malas hierbas presentes. Otro fenómeno que hay que considerar es que mientras la cantidad de espacios vacíos entre las partículas de los restos vegetales que se

utilicen como cubierta sea menor, la acción supresiva de malas hierbas será mayor, lo que puede apoyar la idea de homogeneizar y disminuir el tamaño de las partículas e incluso, si es posible, apisonar el material contra el suelo para disminuir los espacios vacíos entre las partículas del mulch.

Los resultados de la evaluación de la relación dosis/porcentaje de cobertura del suelo indican que el mejor material para cubrir el suelo es la paja de cebada, seguida de los restos de cosecha de maíz, la paja de arroz y por último la *Artemisia absinthium*. Tras estas consideraciones y con base en los resultados obtenidos en los ensayos llevados a cabo en esta investigación, se decidió utilizar los restos vegetales tal y como se obtenían de campo y que la dosis apropiada para la aplicación de las cubiertas a partir de restos vegetales en condiciones de campo fuera de 10 t.ha⁻¹, una dosis manejable y que resulta en un excelente nivel de cobertura para la mayoría de los materiales. En el caso particular de *Artemisia*, la dosis de 10 t.ha⁻¹ presentó un recubrimiento del suelo de 75 (±3,04) %, el cual es bastante bajo; sin embargo, se decidió utilizar esta dosis debido a que aumentarla se tornaría sumamente difícil por las cantidades de material que sería necesario manejar, lo que haría este tratamiento inviable desde el punto de vista económico y práctico. Otra razón para la utilización de esta dosis es la intención de aprovechar todas las ventajas de las cubiertas que derivan de plantas con potencial efecto alelopático sobre las malas hierbas como la *Artemisia*, lo que permite disminuir las dosis de aplicación, debido a que este efecto deberá sumarse al efecto de control físico de malas hierbas propio de cualquier tipo de cubierta de suelo.

La baja capacidad de recubrimiento del suelo por la *Artemisia* se acentuó más a medida en que fue sufriendo pérdida de agua. En un ensayo preliminar realizado dentro del marco de esta investigación, este material mostró una disminución en su porcentaje de humedad desde 51,16 (±1,21) % el día de su aplicación hasta 8,36 (±0,40) y 5,11 (±0,19) % a los 14 y 21 días, respectivamente, bajo condiciones de campo. Esta merma en la humedad del material disminuyó a su vez la capacidad de recubrimiento del suelo en un promedio de 20,3 (±1,63) y 24,8 (±2,31) % a los 14 y 21 días después de la aplicación respectivamente, reduciendo así el área cubierta del suelo por el material hasta valores cercanos al 50 %, niveles de cobertura insuficientes para un apropiado control de malas hierbas. Esta situación llevó a que durante el tercer año de ensayos la cubierta correspondiente a *Artemisia* fuera sustituida por una mezcla de *Artemisia* y restos de cosecha de maíz, para así mejorar la cobertura del suelo, sin renunciar al potencial efecto alelopático que pueden producir los restos de *Artemisia absinthium* sobre las malas hierbas.

5.1.2.- Caracterización química de los restos vegetales utilizados como cubiertas

En cuanto a la composición de los restos vegetales utilizados como cubiertas, en el cuadro 5 se presenta un resumen de los valores obtenidos para los materiales utilizados en los ensayos llevados a cabo en Zaragoza.

Cuadro 5. Valores para algunos de los componentes de las cubiertas de restos vegetales utilizadas en los ensayos. Se resaltan los valores máximos en cada caso.

Material	C/N	% p/p							ppm			
		M.O.	N	P	K	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe	Cu	Mn	Zn
Paja de Cebada	<u>155,60</u>	<u>94,2</u>	0,34	0,03	1,34	0,114	0,27	0,08	162	4	14	2
Paja de Arroz	76,26	89,2	0,68	0,10	1,29	<u>0,451</u>	0,53	0,25	155	6	<u>410</u>	23
Restos de Maíz	64,77	86,9	0,78	0,07	0,82	0,034	0,95	0,24	<u>1600</u>	10	48	28
A. absinthium	19,08	87,3	<u>2,66</u>	<u>0,38</u>	<u>3,55</u>	0,022	<u>1,47</u>	<u>0,56</u>	394	<u>25</u>	200	<u>62</u>

C/N=relación carbono:nitrógeno; M.O.= materia orgánica

Los resultados indican diferencias en la composición química de los materiales utilizados, en especial en la relación carbono/nitrógeno. En referencia a esta característica se observa que la paja de cebada es la que presenta una mayor relación C/N y los restos de *Artemisia* la menor, con la paja de arroz y los restos de cosecha de maíz con valores intermedios, pero bastante altos. La relación C/N tiene una alta influencia en la velocidad en que se descomponen los restos vegetales en el suelo, y a medida que este valor es mayor la descomposición del material es más lenta (Angers y Recous, 1997; Teasdale, 2003), esto último debido a que los procesos microbianos que producen la descomposición del material se hacen más lentos e ineficientes. La actividad microbiana alcanza grandes niveles cuando la relación carbono/nitrógeno es 30:1 (McLaurin y Wade, 2000).

El efecto de la inmovilización del nitrógeno por la incorporación al suelo de grandes cantidades de material con alta relación C/N (Cheshire *et al.*, 1999), se produce por el aumento en las poblaciones de los microorganismos que utilizan a las cubiertas orgánicas como sustrato alimenticio, elevándose a la vez las cantidades de nitrógeno que quedan inmovilizado como nitrógeno orgánico, no disponible para las plantas. Tal situación ha sido reportada por Gawronski (2004), quién observó deficiencias de nitrógeno en trigo de invierno al utilizar diferentes niveles de cubierta con restos de girasol.

Las pérdidas en el rendimiento por efecto de la inmovilización de nitrógeno que sigue a la incorporación de grandes cantidades de pajas pueden ser mitigadas con la adición de nitrógeno mineral (Azam *et al.*, 1991); por ello al incorporar un material con

un alto valor de C/N al suelo será necesario realizar una apropiada fertilización nitrogenada para así evitar clorosis en los cultivos consecuencia de una deficiencia de nitrógeno, que puede afectar el rendimiento.

En el caso particular del uso de los restos vegetales como cubiertas donde el contacto del material con el suelo es bajo al ser comparado con una incorporación del material a la matriz del suelo, una alta relación C/N puede traer ventajas, ya que esta condición tenderá a disminuir la velocidad de descomposición del material, alargando así la vida útil del material como cubierta efectiva del suelo. Los procesos de inmovilización del nitrógeno pueden suceder cuando estos restos son incorporados al suelo al finalizar el ciclo del cultivo, pero hay que considerar que en ese momento las cubiertas ya han sufrido un largo proceso de meteorización, que se extiende como mínimo por un tiempo similar al ciclo del cultivo en el cual han servido de cubierta, por lo que se disminuyen ampliamente las posibilidades de que el proceso de inmovilización de nitrógeno afecte de forma significativa al cultivo posterior, ya que el material se encuentra en parte compostado. Esto a largo plazo puede traer beneficios a los cultivos tal como lo indican Eagle *et al.* (2000) quienes en un ensayo con arroz encontraron que tanto la disponibilidad de nitrógeno como el rendimiento del cultivo parecen verse beneficiados con la incorporación de los restos de la cosecha al suelo, más cuando estos han sufrido algún nivel de degradación.

De acuerdo a los resultados presentados en el cuadro 5 los restos de *Artemisia* son los que presentan en su composición la mayor proporción en gran parte de los elementos analizados; además poseen la más baja relación C/N, básicamente por ser restos frescos, condición que favorece una rápida descomposición en el suelo. Llamen la atención los altos niveles de sodio y manganeso observados en la paja de arroz y los elevados niveles de hierro del maíz.

Si bien los componentes analizados no están disponibles de forma inmediata para el cultivo cuando estos materiales son utilizados como cubiertas, en el cuadro 6 se presenta una estimación del aporte de nutrientes al suelo por las cubiertas de restos vegetales utilizadas, considerando una dosis de 10 t.ha^{-1} de peso seco y los datos de su composición química. No es despreciable la cantidad de nutrientes que aportan las cubiertas; en este aspecto destaca la *Artemisia*, seguida de los restos de cosecha de maíz, la paja de arroz y por último la paja de cebada. Estos aportes de nutrientes tienen el potencial de producir un efecto favorable sobre los cultivos cuando el sistema de cubiertas con restos vegetales se utilice de forma continua sobre un mismo suelo durante varios ciclos de producción, lo que permitiría su posterior humificación y la liberación o transformación de los nutrientes a formas disponibles

para las plantas, además de proporcionar las múltiples ventajas de tipo físico que produce la incorporación de materia orgánica al suelo. Los resultados del impacto de las cubiertas sobre algunas características del suelo serán discutidos posteriormente.

Cuadro 6. Aportes de nutrientes al suelo de las cubiertas de restos vegetales utilizadas en los ensayos. Dosis de cubierta: 10 t.ha⁻¹ de peso seco.

Material	kg.ha ⁻¹									
	N	P	K	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe	Cu	Mn	Zn
Paja de Cebada	34	3	134	11,4	27	8	1,6	0,04	0,14	0,02
Paja de Arroz	68	10	129	45,1	53	25	1,6	0,06	4,10	0,23
Restos de Maíz	78	7	82	3,4	95	24	16,0	0,10	0,48	0,28
<i>Artemisia absinthium</i>	266	38	355	2,2	147	56	3,9	0,25	2,00	0,62

5.1.3.- Caracterización física del papel, plástico biodegradable y polietileno negro utilizados como cubiertas

Para la caracterización física de las cubiertas de papel, polietileno negro y plástico biodegradable utilizadas en los ensayos, se procedió a recolectar toda la información técnica disponible; como un resumen de ésta información, a continuación se describen de forma general cada uno de estos materiales:

5.1.3.1.- Papel

El papel utilizado como cubierta en los ensayos llevados a cabo en España fue donado por la empresa SAICA (Sociedad Anónima Industrias Celulosa Aragonesas) y es denominado comercialmente como Saikraft®. Este papel tipo kraft es papel derivado en un 100% de pulpa de papel reciclado, de color marrón claro, suave al tacto, aunque poco fino, por lo que se utiliza básicamente para la fabricación de bolsas, empaques y recubrimiento de cajas de cartón corrugado. El gramaje utilizado fue de 200 g.m⁻² (±3%) y grosor de 280 micras, lo que hacía a las láminas de papel bastante resistentes a la tracción mecánica, aunque fueron comunes algunas pequeñas roturas durante la colocación del mismo en el campo, debido a que se trata de un papel reciclado, por lo que sus fibras son cortas, lo que le confiere menor elasticidad. El ancho de las láminas fue llevado a 1,20 m mediante el corte manual de las mismas, ya que provenían de bobinas de 1,5 m de ancho. En este trabajo se utilizó papel que poseía una capa de almidón (2 a 3%) por uno de sus lados, el cual le proporciona cierta resistencia al agua, ya que uno de los usos comunes de dicho papel es para embalajes de frutas que pueden estar refrigeradas, lo que supone una exposición al agua por efecto de la condensación; a pesar de esta característica el material posee permeabilidad al agua y a los gases. Cuando se colocó el papel como

cubierta del suelo se procuró que la cara con almidón quedara hacia la parte superior. El papel Saikraft® no posee ningún aditivo que le proteja de la descomposición microbiana (como fungicidas, azufre, etc.) y está autorizado para su contacto con frutas u otros alimentos, lo que supone concentraciones muy bajas o inexistentes de contaminantes en su composición y que el material no dejaría ningún tipo de residuo tóxico en el suelo.

En los ensayos llevados a cabo en Venezuela se utilizó un papel similar tipo Kraft derivado de papel reciclado y con fibra de caña de azúcar (bagazo de caña) como componente en una proporción del 20%. Este papel se utiliza para el embalaje de diferentes productos y posee un gramaje de 200 g.m⁻²; su color es marrón oscuro y no posee ningún tipo de aditivo para alargar su duración ni para protegerlo de la humedad.

Uno de los limitantes del uso de papel con este alto gramaje (200 g.m⁻²) es el manejo de las bobinas para su aplicación en el campo; si se considera que el área cubierta con papel colocado como cubierta por hectárea es de 6666 m² (2/3 del área de siembra), el peso total del papel a ser colocado es de 1333,3 kg, una cantidad que bajo ciertas condiciones puede ser difícil de manejar, ya que implica el uso de bobinas de alto peso y, en general, bajo rendimiento durante su colocación (m² cubiertos/horas de trabajo).

5.1.3.2.- Plástico biodegradable

El plástico biodegradable que se utilizó en el ensayo es un derivado del biopolímero denominado Mater-Bi® fabricado por la empresa italiana NOVAMONT. Este polímero se obtiene de sustancias vegetales como almidón de maíz y con él pueden construirse variados tipos de envases, bolsas y, en este caso, láminas para cubiertas de suelo de uso agrícola, que se encuentran disponibles en el mercado desde el año 2000. El Mater-Bi® tiene características similares al polietileno, pero es 100% biodegradable y compostable, lo que disminuye considerablemente el impacto ambiental que produce al ser utilizado en condiciones de campo. En los ensayos de Zaragoza se utilizaron láminas de 1,20 metros ancho, 15 micras de espesor y de color negro por ambos lados; el peso del Mater-Bi® es de aproximadamente 21,2 g.m⁻², lo que implica el uso de unos 141,32 kg.ha⁻¹ si se cubren 2/3 del área de siembra. En los ensayos de Venezuela no se contó con este material.

5.1.3.3.- Polietileno

Este material fue utilizado como referencia para las demás cubiertas utilizadas en el ensayo. Las láminas de polietileno utilizadas en los ensayos realizados en

España son las de uso común por los horticultores de la zona donde se instaló el ensayo. Esta cubierta es de color negro por ambos lados, con 15 micras de espesor y con un peso de 13,8 g.m⁻², lo que implica la utilización de sólo 91,99 kg del material por hectárea cubriendo 2/3 del área de siembra. Por su parte, en Venezuela se utilizó polietileno de 25 micras de espesor, peso de 25 g.m⁻² y con coloración gris-negro; este material fue colocado con el color gris hacia arriba, ya que en las condiciones tropicales y semiáridas donde se instaló el ensayo el color negro expuesto al sol sobrecalienta el suelo y produce daños sobre las plantas, especialmente cuando están en los primeros estados de desarrollo.

El polietileno se caracteriza por ser un material muy resistente al manejo, económico, duradero y de una excelente relación costo-beneficio; sin embargo posee como principal inconveniente la dificultad para retirarlo del campo después de su uso y su bajo potencial para ser reciclado.

5.1.4.- Caracterización química del papel, plástico biodegradable y polietileno negro utilizados como cubiertas

La caracterización química del papel, del plástico biodegradable y el polietileno negro se concentró en el análisis de componentes residuales que pudieran constituirse en contaminantes del suelo; para ello se realizaron algunos análisis del contenido de los metales pesados más comunes como contaminantes de suelo en los materiales utilizados durante el año 2006 y 2007; los resultados promedios de dichos análisis se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 7. Valores de contenido de algunos metales en el papel Saikraft®, plástico Mater-Bi® y polietileno negro utilizados como cubiertas de suelo.

Material	mg.kg ⁻¹ en base seca					Cenizas	Humedad
	Zinc	Cadmio	Plomo	Cobre	Niquel		
Saikraft®	98,24	0,07	10,54	21,50	21,42	73,76	7,08
Mater-Bi®	5,14	0,02	2,62	2,26	7,44	2,09	1,42
Polietileno	6,68	0,02	3,00	1,41	16,10	2,08	0,88

En los resultados obtenidos se observa que de las cubiertas evaluadas, el papel es el que posee los mayores niveles de los elementos analizados, probablemente por su característica de tener como origen diferentes fibras recicladas; a pesar de ello este material cumple con la norma para materiales en contacto con alimentos, la cual indica los siguientes límites máximos de contaminantes (en ppm base seca): Zn=150; Cu=50; Ni=25; Cd=0,5; Pb=50; Hg=0,5; Cr=50; Mo=1; Se=0,75; As=5 y F=100. Destaca la gran cantidad de níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn)

presentes en el papel, a pesar de estar por debajo del límite establecido en la citada norma. De acuerdo con conversaciones realizadas con el personal técnico de la empresa productora de este papel, la presencia de estos compuestos se debe en gran parte a los diferentes tipos de tintas que se utilizan en la impresión de materiales como revistas, periódicos, material de publicidad, etc., los cuales son la base de este material reciclado. En los casos del Mater-Bi® y el polietileno no se observan valores que destaquen y, en general, los elementos analizados se encuentran en menor proporción que en el papel Saikraft®.

El estudio hecho por Arora *et al.* (2003) en mulch proveniente de cortezas de árboles reporta concentraciones de zinc de 15 a 25 ppm, cromo de 3 a 7 ppm, cadmio menores a 0,1 ppm y de plomo de 1 ppm, pero a pesar de que estos compuestos están en niveles relativamente bajos, tuvieron la capacidad de ser transferidos a aguas superficiales por efecto de la escorrentía. Estos resultados indican la necesidad de estimar el impacto que posee el uso de cualquier material como cubierta del suelo, en especial cuando es posible que dicho uso se haga a gran escala.

En el cuadro 8 se presenta una estimación de las cantidades de los elementos analizados que se introducen al suelo con el uso de las cubiertas evaluadas.

Cuadro 8. Estimación de las cantidades de zinc (Zn), cadmio (Cd), plomo (Pb) y cobre (Cu) aportados al suelo con la utilización de las diferentes cubiertas no orgánicas evaluadas. Se considera que el área cubierta por los materiales es el 66% del área total de cultivo. Cálculos hechos en base seca.

Material	g.ha ⁻¹				
	Zinc	Cadmio	Plomo	Cobre	Niquel
Saikraft®	128,66	0,092	13,80	28,16	28,05
Mater-Bi®	0,55	0,002	0,28	0,24	0,80
Polietileno	0,33	0,001	0,15	0,07	0,80

Estas estimaciones indican como el papel puede constituirse en una fuente importante de los elementos descritos en el suelo, en especial con un uso repetitivo; sin embargo, la valoración de su impacto ambiental es difícil debido a que no existen directrices claras para los límites máximos de contaminantes en materiales utilizados como cubiertas de suelo, los cuales son guías básicas para la clasificación y toma de decisiones. En este sentido el proyecto LIFE de la Unión Europea denominado “*Biodegradable coverages for sustainable agriculture*” ha abordado parcialmente esta problemática y en la acción 1.3 denominada “*Environmental impact of current practices*” (LIFE-UE, 2004) se hace referencia a diferentes normas, entre la que destaca la DIN V 54900 que regula la cantidad de contaminantes como los bifenil-policlorinados, cadmio, mercurio y plomo que posteriormente puedan pasar al suelo por vía del compostaje en diversos materiales, entre los que es posible ubicar el papel y el Mater-

Bi®. A pesar de estos avances existe poco acuerdo en los métodos más apropiados para hacer los estudios que definan los límites máximos permitidos en materiales para cubiertas de suelo, en especial en aquellos no compostables.

Por su parte, la directiva 94/62/EC indica que en materiales de empaques que sean compostables, donde quedan incluidos cartones y plásticos biodegradables, la sumatoria de las concentraciones de plomo, cadmio, mercurio y cromo hexavalente no deberán exceder los 100 ppm, condición que cumplen tanto el papel como el plástico biodegradable evaluados.

El centro de investigación conjunta de la comisión europea ha propuesto valores para los límites de concentraciones de metales pesados en suelo (Langenkamp *et al.*, 2001), los cuales se presentan en el cuadro 9 y sirven de referencia para estimar el impacto que pueda poseer el uso a gran escala de cubiertas de diferentes tipos.

Cuadro 9. Límites de concentración de metales pesados permitidos en suelo de acuerdo al pH del mismo.

Elemento	mg.kg ⁻¹ en base seca			
	Directiva 86/278/EEC 6 < pH < 7	5 < pH < 6	6 < pH < 7	pH ≥ 7
Cadmio	1 - 3	0,5	1	1,5
Cromo	---	50	75	100
Cobre	50 - 140	30	50	100
Mercurio	1 - 1,5	0,1	0,5	1
Níquel	30 - 75	30	50	70
Plomo	50 - 300	70	70	100
Zinc	150 - 300	100	150	200

Si se considera que la densidad aparente de un suelo de textura franca (como los usados en los ensayos de esta investigación) esta entre 1 y 1,3 g.ml⁻¹ y que la profundidad de laboreo más común en la que se pueden incorporar los restos de las cubiertas de suelo no es mayor a 15 cm, es posible calcular que el peso total de este perfil del suelo en una hectárea es de 100000 a 130000 kg. En base a estos resultados se puede estimar el aporte en la concentración de los elementos contaminantes por parte de cada cubierta, y así compararlo con el límite máximo permitido, tomando en cuenta que el pH del suelo donde se instalaron los ensayos en ambas localidades es mayor a 7.

Las estimaciones realizadas (cuadro 10) indican que los aportes de contaminantes al suelo por parte de todos los materiales no orgánicos evaluados son muy bajos. Inclusive en los casos de zinc, níquel y cobre donde el papel Saikraft® posee valores relativamente altos, el potencial aporte que este material puede hacer al suelo para alcanzar los límites máximos permitidos es, en la práctica, insignificante.

Cuadro 10. Aportes estimados en la concentración de contaminantes al suelo por las cubiertas de origen no orgánico evaluadas y límites máximos permitidos. Se ha considerado el peso del perfil del suelo útil en 100000 kg.

mg.kg⁻¹ en base seca				
Elemento	Límite permitido	Aportes		
		Saikraft®	Mater-Bi®	Polietileno
Cadmio	1,5	0,00092	0,00002	0,00001
Cobre	100	0,2816	0,0024	0,0007
Níquel	70	0,2805	0,0080	0,0080
Plomo	100	0,1380	0,0028	0,0015
Zinc	200	1,28	0,0055	0,0033

No es objetivo de esta investigación evaluar en detalle el impacto ambiental de la adopción de las diferentes cubiertas evaluadas desde el punto de vista de la contaminación del suelo, pero dado los resultados obtenidos se llama la atención sobre la necesidad de ahondar en este aspecto, ya que el uso a gran escala de estas cubiertas de suelo puede traer consecuencias no deseables al ambiente, en especial sobre la sostenibilidad del recurso suelo.

Posteriormente se presentarán los resultados obtenidos en la valoración de algunos elementos analizados en el suelo después del uso continuo de los materiales de las cubiertas de suelo evaluadas en esta investigación.

5.2.- VALORACIÓN DEL POTENCIAL ALELOPÁTICO DE LOS RESTOS VEGETALES UTILIZADOS COMO CUBIERTAS DE SUELO SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE.

5.2.1.- Evaluación del potencial alelopático de extractos acuosos de restos vegetales utilizados como cubiertas de suelo sobre plantas de tomate

5.2.1.1.- Características de los extractos acuosos obtenidos

Las evaluaciones hechas sobre los extractos obtenidos se realizaron sobre estos extractos a una concentración del 100%, es decir, tal como se obtenían del proceso de maceración aplicado en cada caso. En el cuadro 11 se resumen los valores promedios de potencial osmótico, pH y concentración de sales para cada material.

Todos los extractos presentaron un nivel de concentración de sales que puede considerarse de mediano a alto, en especial en el caso del maíz. La forma en la que se evitó que esta condición enmascarara un potencial efecto alelopático fue realizando la aplicación de los extractos de forma alterna con riegos de volumen similar con agua de baja salinidad, con el fin de evitar la acumulación de sales, tal como recomienda la FAO (Ayers y Westcot, 1994). De forma similar, los valores de pH y potencial osmótico

no parecen ser una limitante para el desarrollo de las plantas si se considera que la forma de aplicación de los extractos fue directamente al suelo (Zambrano, 2002). Estos resultados indican que los extractos acuosos obtenidos no poseen limitaciones aparentes en los parámetros evaluados que puedan afectar de forma significativa la expresión de un potencial efecto alelopático del extracto sobre las plantas al ser aplicado sobre el suelo.

Cuadro 11. Valores promedios de potencial osmótico, pH y concentración de sales para los extractos acuosos de los restos vegetales evaluados como cubiertas.

Material	Potencial osmótico (mmol.kg ⁻¹)	pH	Concentración de sales (dS.m ⁻¹)
Paja de Cebada	97	4,44	3,13
Paja de Arroz	72	5,76	3,09
Restos de maíz	132	4,43	5,00
<i>Artemisia absinthium</i>	62	5,89	2,28

Una consideración especial sobre estos resultados es que los extractos obtenidos si expresan una limitación importante para la realización de ensayos sobre sus efectos sobre la germinación de semillas de malezas por el método tradicional de germinación sobre papel filtro (Wardle *et al.*, 1992; Lazo y Montoya, 1994), debido al alto valor de potencial osmótico que registran los mismos. De hecho, en ensayos preliminares que se realizaron en este trabajo de investigación con semillas de *Amaranthus retroflexus*, *Setaria pumila*, *Sonchus oleraceus*, *Echinochloa colona* y *Lactuca sativa*, se encontró que niveles de potencial osmótico superiores a 60 mmol.kg⁻¹, los cuales se obtuvieron con la dilución en agua de un azúcar inerte (*D*-sorbitol), reducían de forma significativa la germinación y el desarrollo de las radículas de estas especies, por lo que era de esperarse que todos los extractos evaluados directamente sobre papel de filtro produjeran un efecto negativo sobre las citadas especies indicadoras, no por un efecto alelopático, sino por un efecto osmótico. Esta es la razón por la cual se obvió la utilización de esta forma de evaluación de la alelopatía y se decidió utilizar métodos más directos para valorar este efecto de las cubiertas sobre el cultivo y las malas hierbas.

5.2.1.2.- Ensayo “a”

Cabe recordar que en este ensayo se evaluó el impacto de las diferentes concentraciones de los extractos acuosos de las cubiertas sobre el cultivo de tomate desarrollándose sobre un sustrato esterilizado y uno sin esterilizar, para estudiar las posibles relaciones entre los potenciales compuestos alelopáticos en los extractos y los microorganismos presentes en el suelo. El análisis estadístico de los datos utilizado en este caso fue un análisis de varianza aplicado a cada una de las variables

evaluadas: concentración de clorofila, altura de planta, número de ramas por planta, número de flores abiertas por planta y peso fresco por planta, el cual se realizó bajo un modelo lineal con las siguientes fuentes de variación: (1) tipo de cubierta; (2) dosis del extracto; (3) condición del suelo (esterilizado o sin esterilizar); (4) interacción cubierta-dosis; (6) interacción cubierta-suelo; (7) interacción dosis-suelo y (8) interacción cubierta-dosis-suelo.

Cuadro 12. Resumen de los valores de P del análisis de varianza aplicado a los resultados de las variables evaluados en el ensayo "a". Se resaltan los valores menores a 0,05.

Valores de P en el análisis de varianza					
Fuente de variación	Concentración de clorofila*	Ramas por planta	Altura de plantas	Flores por planta	Peso fresco por planta
Tipo de cubierta (1)	0,119	0,973	0,544	0,311	0,123
Dosis del extracto (2)	0,782	0,447	0,699	0,731	0,811
Condición de suelo (3)	<u>0,000</u>	<u>0,001</u>	<u>0,001</u>	0,523	<u>0,000</u>
(1) x (2)	0,695	0,970	0,821	0,820	0,360
(1) x (3)	0,972	0,128	0,133	0,848	0,225
(2) x (3)	0,866	0,800	0,748	0,929	0,772
(1) x (2) x (3)	0,91	0,453	0,646	0,749	0,385

*Unidades SPAD

Los resultados indican que sólo existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los dos niveles del factor condición de suelo en la mayoría de las variables evaluadas; para las demás fuentes de variación no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los distintos niveles de dichos factores en ninguna de las variables evaluadas.

Desde el punto de vista de la evaluación del potencial alelopático de los extractos ensayados bajo las condiciones descritas, no se evidenció que los mismos tuvieran algún tipo de efecto sobre las variables evaluadas; además, no existían interacciones entre los factores tipo de cubierta, concentración del extracto y condición de suelo. Estos resultados difieren de los presentados por Aibar *et al.* (2005), quienes indican que el extracto de *Artemisia* afecta de forma significativa el crecimiento del tomate; sin embargo, hay que considerar que en ese caso el extracto fue aplicado directamente sobre el follaje del cultivo, mientras que en este ensayo se aplicó sobre el suelo.

Por otra parte, en el cuadro 13 se resumen los valores de las variables en las cuales se evidenciaron diferencias entre los niveles del factor condición de suelo. Es claramente visible que todos los parámetros fueron afectados por el proceso de esterilización del suelo, ya que los valores de las variables evaluadas cuando el suelo estaba esterilizado son menores. No existieron diferencias en la variable número de flores abiertas. Estos resultados difieren de los presentados por Barnes y Putnam

(1986), quienes reportan que la acción fitotóxica de los extractos acuosos del centeno (*Secale cereale*) sobre *Lepidium sativum* es alta cuando se aplican sobre suelo esterilizado, mientras se reduce cuando se aplica en suelo no esterilizado, lo que supone que los compuestos alelopáticos presentes pueden estar siendo degradados por los microorganismos de dicho suelo; sin embargo, en este mismo trabajo de investigación se reporta que la especie *Echinochloa crus-galli* fue inhibida de forma similar cuando los extractos se utilizaron sobre suelo esterilizado y no esterilizado, lo que implica que la acción de los compuestos alelopáticos puede ser específica y depender de los microorganismos presentes en el suelo.

Cuadro 13. Valores medios de concentración de clorofila, altura de planta, número de ramas por planta, número de flores abiertas por planta y peso fresco por planta obtenidos en el ensayo "a".

Variable	Suelo sin esterilizar			Suelo esterilizado		
	Media	Límite superior	Límite inferior	Media	Límite superior	Límite inferior
Concentración de clorofila*	35,32	36,04	34,59	33,26	33,98	32,53
Altura de plantas (cm)	22,75	23,67	21,81	20,44	21,36	19,51
Número de ramas	8,00	8,20	7,97	7,51	7,72	7,31
Peso fresco por planta (g)	37,42	38,78	36,05	27,37	28,73	26,04

*Unidades SPAD

En el caso de esta investigación los resultados indican la aparente necesidad del cultivo de relacionarse con los microorganismos del suelo para potenciar su crecimiento. Teniendo en cuenta estos resultados, en los ensayos "b" y "c" se decidió utilizar sólo suelo sin esterilizar, debido a que no se observó una interacción directa entre el potencial efecto alelopático de los extractos y los microorganismos del suelo. Otro motivo para tomar esta decisión fue el efecto perjudicial que produjo sobre el cultivo la esterilización del suelo. De similar forma se decidió en lo sucesivo enfocar las evaluaciones en la variable peso de planta como una medida más directa del efecto de los extractos sobre la producción de materia por parte de las plantas de tomate.

5.2.1.3.- Ensayo "b"

Los análisis de los resultados de este ensayo indican que no existen diferencias significativas en la variable peso fresco de las plantas de tomate entre las diferentes dosis de extractos aplicados al cultivo para la paja de cebada, paja de arroz y los restos de maíz. Los resultados se resumen en el cuadro 14 y los mismos evidencian que bajo las condiciones del ensayo ninguno de los extractos produjeron algún efecto sobre el peso de las plantas y en ningún caso se diferenciaron del testigo

sin la aplicación de extractos. En el caso particular de los extractos acuosos de restos de *Artemisia*, en este ensayo se encontró que existen diferencias significativas (con $P=0,0255$ y $CV=24,73\%$) entre las diferentes concentraciones del extracto para la variable peso fresco de plantas. Los resultados indican que el extracto aplicado a una concentración de 100% produce un aumento de alrededor de 25% en el peso fresco de las plantas, diferenciándose estadísticamente de acuerdo a la prueba de medias, tal como se puede observar en el cuadro 15.

Cuadro 14. Resumen del análisis de los resultados obtenidos en el ensayo “b” para las cubiertas paja de arroz, paja de cebada y restos de maíz.

Dosis del extracto (%)	Peso fresco promedio por planta de tomate (g)		
	Paja de arroz	Paja de cebada	Restos de maíz
0	4,90	4,16	4,36
20	5,56	4,38	4,16
40	4,16	4,01	5,08
60	5,29	4,35	5,38
80	6,02	4,12	4,01
100	4,92	3,99	4,06
Parámetros estadísticos obtenidos en el análisis de varianza			
P	0,2202	0,9985	0,3940
CV (%)	18,53	19,53	18,22

Cuadro 15. Separación de medias en la variable peso fresco para plantas tratadas con diferentes concentraciones del extracto acuoso de *Artemisia absinthium* en el ensayo “b”.

Concentración del extracto (%)	Media del peso fresco de planta (g)
0	4,28 a
20	3,72 a
40	3,80 a
60	4,24 a
80	4,79 a
100	5,33 b

Letras distintas indican diferencias según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$)

Si bien en la práctica se entiende alelopatía como un efecto químico perjudicial de una especie sobre otra, un concepto amplio de este fenómeno indica que la alelopatía es la producción de sustancias químicas de naturaleza orgánica a partir de tejidos vegetales vivos o en proceso de descomposición, que en forma directa o indirecta, causarán efectos inhibitorios o estimulatorios sobre plantas vecinas (Lazo, 1992). De allí que incluso plantas que se consideran altamente efectivas para el control de otras especies (como la *Artemisia absinthium*) pueden generar respuestas favorables, como sucede en este caso. Es probable que el efecto del extracto a alta concentración no sólo esté ligado exclusivamente a fenómenos de alelopatía, sino al efecto fertilizante y de adición de materia orgánica y nutrientes al suelo que, como se discutió anteriormente, en el caso de *Artemisia* puede ser alto.

5.2.1.4.- Ensayo “c”

Al igual que en el ensayo “b”, los resultados del análisis de varianza indican que no existen diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de los extractos de cebada, arroz y maíz para las variables peso fresco y peso seco. En cuanto a los resultados obtenidos con los extractos de *Artemisia absinthium*, el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas ($P < 0,001$ y $CV = 9,55\%$) entre los diferentes niveles de extractos para las variables peso fresco y peso seco. En el cuadro 16 se presentan los resultados de la separación de medias entre tratamientos para ambas variables en el caso particular de la aplicación de extractos de *Artemisia*.

Cuadro 16. Separación de medias para las variables peso fresco y peso seco de plantas de tomate creciendo bajo diferentes concentraciones de extractos acuosos de *Artemisia absinthium* en el ensayo “c”.

Concentración del extracto (%)	Peso fresco de las plantas de tomate (g)	Peso seco de las plantas de tomate(g)
0	24,13 c	11,01 b
20	22,72 c	11,41 ab
40	28,06 b	11,52 ab
60	29,76 a	11,75 ab
80	30,69 a	11,79 ab
100	30,67 a	12,03 a

Letras distintas indican diferencias según la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Tal como sucedió en el ensayo anterior, los resultados indican un efecto favorable de los extractos acuosos de la *Artemisia* sobre la acumulación de materia en las plantas de tomate y este efecto aumenta de acuerdo a la concentración del extracto.

Si se considera la forma exhaustiva en la que se realizaron los extractos, el limitado volumen de suelo en el que eran agregados y la forma repetida en que fueron aplicados, es posible afirmar en base a los resultados obtenidos en este grupo de ensayos que estos extractos no poseen compuestos alelopáticos que interfieran con el crecimiento del tomate. En el caso de la *Artemisia* se obtuvo un efecto beneficioso sobre el cultivo, coincidiendo de forma parcial con los resultados obtenidos por Bara *et al.* (1999), quienes reportan que las menores dosis evaluadas de los extractos acuosos de *Artemisia absinthium* tuvieron un ligero efecto estimulador sobre diferentes especies de malas hierbas en pruebas de germinación *in vitro*.

En evaluaciones similares con bioensayos en laboratorio y posteriores ensayos de campo realizadas con diferentes cereales de invierno y sus variedades como cubiertas para el cultivo de maíz, Dhima *et al.* (2006) indican que extractos acuosos de algunas variedades de cebada evaluadas no tuvieron efectos perjudiciales sobre el

desarrollo inicial del maíz (germinación y elongación de radícula), obteniéndose en los ensayos de campo un rendimiento similar al de las parcelas tratadas con herbicidas. En este mismo orden de ideas Larson *et al.* (1997) realizaron diferentes ensayos para estudiar la relación entre diferentes variedades de tomate y diferentes tipos de cubiertas para producción a pequeña escala (huertos familiares); los datos indican que existen diferencias importantes en la producción de las diferentes variedades del cultivo de acuerdo al tipo de cubierta utilizada, lo que supone una relación específica entre el cultivo y la cubierta. Los resultados de estas investigaciones sugieren que el potencial uso de diferentes materiales de origen orgánico vegetal como mulch debe ser evaluado a profundidad, incluyéndose estudios de alelopatía, ya que las respuestas de los cultivos y las malezas es diferenciada entre las cubiertas, incluso a niveles de presentarse diferencias entre variedades de un mismo material, como en el caso de la paja de centeno (Dhima *et al.*, 2006).

5.2.2.- Evaluación del efecto de las cubiertas ensayadas incorporadas o no al suelo sobre el desarrollo del tomate

Como ya se ha descrito en el apartado de materiales y métodos, en esta fase de la experimentación se realizaron dos ensayos que pretendían simular la interacción directa de las diferentes cubiertas orgánicas y el cultivo; en este sentido en el ensayo “d” se tomaron cantidades equivalentes a 10 t.ha⁻¹ de cada cubierta y se aplicaron en dos formas: (1) sobre el suelo, tal y como se usaría en campo como cubierta y (2) incorporado al suelo, mientras que en el ensayo “e” se persiguió como objetivo simular el uso de las diferentes cubiertas de restos vegetales tal como se utilizan en campo, pero en condiciones más controladas.

5.2.2.1.- Ensayo “d”

Sobre los resultados de la variable peso seco de las plantas de tomate obtenida en este ensayo se realizaron dos tipos de análisis de varianza: el primero a través de un modelo lineal simple donde las fuentes de variación fueron los tratamientos (tipos de cubierta) y la condición de la cubierta (incorporadas o no) y el segundo se realizó dentro de cada material, tomando como tratamientos la condición de la cubierta e incluyendo al control (sin cubierta en ninguna de sus condiciones).

En el primer tipo de análisis de varianza se obtuvo que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($P=0,9076$) ni entre las diferentes condiciones de la cubierta ($P=0,1287$), obteniéndose un $CV=26,46\%$, lo que da base para afirmar que no existieron diferencias en el peso seco de las plantas de tomate al ser afectadas por los diferentes tipos de cubiertas, ya sean incorporadas o colocadas sobre el suelo.

Continuando con el análisis de los resultados de este ensayo, en el cuadro 17 se resumen los resultados del segundo tipo de análisis de varianza aplicado. A pesar de que se observa que en todos los casos se obtuvieron mayores pesos cuando las cubiertas se encontraban sobre el suelo y no incorporadas al mismo, el análisis estadístico indica que estas diferencias nunca fueron significativas, inclusive al ser comparadas con el testigo. Los valores obtenidos para el coeficiente de variación (CV) en los análisis indican la fiabilidad de estos resultados.

Cuadro 17. Resumen de los resultados del análisis de varianza para la variable peso seco de plantas aplicado a los tipos de cubierta en el ensayo “d”.

Condición de la cubierta	Valores promedio de peso seco de las plantas (g)			
	Cebada	Arroz	Maíz	Artemisia
Sobre el suelo	216,90	217,44	210,39	200,96
Incorporada al suelo	207,28	185,90	188,72	200,80
Testigo	208,01	208,01	208,01	208,01
Parámetros estadísticos obtenidos en el análisis de varianza				
Valor de P	0,8463	0,2537	0,6285	0,9385
CV (%)	15,10	15,86	14,43	19,65

Tras el estudio de estos resultados es posible afirmar que bajo las condiciones ensayadas no se presentan evidencias que indiquen que los restos vegetales empleados como cubiertas de suelo ejerzan un efecto negativo sobre las plantas de tomate, resultado que coincide con los de los ensayos descritos con anterioridad.

5.2.2.2.- Ensayo “e”

Este ensayo tuvo como objetivo simular el uso de las diferentes cubiertas de restos vegetales como se utilizan en campo, pero en condiciones más controladas. Para ello se instaló un ensayo con plantas en macetas para evaluar el efecto de las cubiertas sobre las fases tempranas del cultivo de tomate.

Cuadro 18. Resumen de los valores promedios obtenidos en las variables evaluadas en el ensayo “e”.

Tipo de Cubierta	Biomasa seca de las plantas de tomate (g)	Número de frutos por planta	Peso promedio de frutos (g)
Paja de cebada	3,33 ± 0,81	1,45 ± 0,81	15,48 ± 8,43
Paja de arroz	3,78 ± 1,62	1,50 ± 0,83	10,00 ± 6,09
Restos de maíz	2,58 ± 1,08	1,83 ± 0,75	11,42 ± 6,46
Artemisia + Maíz	3,65 ± 1,27	1,66 ± 0,51	17,53 ± 5,29
Sin cubierta	2,63 ± 0,82	1,50 ± 0,54	10,17 ± 5,31

± desviación estándar

Los valores obtenidos de P en el análisis de varianza para la fuente de variación tipo de cubierta en las variables número de frutos, peso fresco de frutos y peso seco de plantas fueron de 0,239; 0,6779 y 0,1945, respectivamente. También se

determinó el peso promedio por fruto y el análisis de varianza para el efecto de los tratamientos sobre esta variable indicó que no existen diferencias entre tratamientos ($P=0,1569$); sin embargo, en este último análisis se obtuvo un coeficiente de variación relativamente alto ($CV=40,74\%$), por lo que esta alta variación puede estar afectando los resultados obtenidos en el análisis de la varianza.

Tal como se esperaba de acuerdo a los datos de los ensayos anteriores, el análisis de varianza realizado a los resultados para las variables número de frutos, peso fresco de frutos y peso seco de plantas de tomate indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, y que éstos no se diferencian con el tratamiento testigo (suelo sin cubierta).

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta fase de la experimentación se puede concluir que, bajo las condiciones de los diferentes ensayos realizados, no se manifestó algún efecto negativo de las cubiertas orgánicas utilizadas sobre el cultivo del tomate en sus fases iniciales de desarrollo, momento en el cual es más susceptible a la interacción química (alelopatía) con las cubiertas. Esta conclusión permite afirmar que la paja de cebada, la paja de arroz, los restos de cosecha de maíz y los restos de plantas de *Artemisia absinthium* no poseen limitaciones químicas para ser utilizadas como cubiertas de suelo en el cultivo de tomate.

5.3.- VALORACIÓN DEL USO DE CUBIERTAS DE SUELO PARA EL CONTROL DE MALAS HIERBAS EN EL CULTIVO DE TOMATE BAJO CONDICIONES CONTROLADAS Y DE CAMPO

5.3.1.- Evaluación de la capacidad de control de malas hierbas de restos vegetales utilizados como cubierta de suelo en cámara de cultivo

Cabe recordar que este ensayo fue realizado en bandejas y en condiciones de cámara de cultivo, donde las diferentes cubiertas fueron aplicadas sobre suelo con semillas y propágulos de malas hierbas, incluyendo tubérculos de *Cyperus rotundus*. Como primer resultado de este ensayo se obtuvo que, en general, la flora arvense presente en las bandejas estaba constituida por las siguientes especies:

Gramíneas: *Echinochloa colona* y *Setaria pumila*.

Dicotiledóneas: *Sonchus oleraceus*, *Chenopodium album* y *Convolvulus arvensis*.

Ciperáceas: *Cyperus rotundus*.

En la figura 15 se presenta un resumen de dichos datos donde se diferencia el porcentaje del número de individuos de los diferentes grupos de malezas con respecto al testigo sin cubierta, así como del número de individuos total.

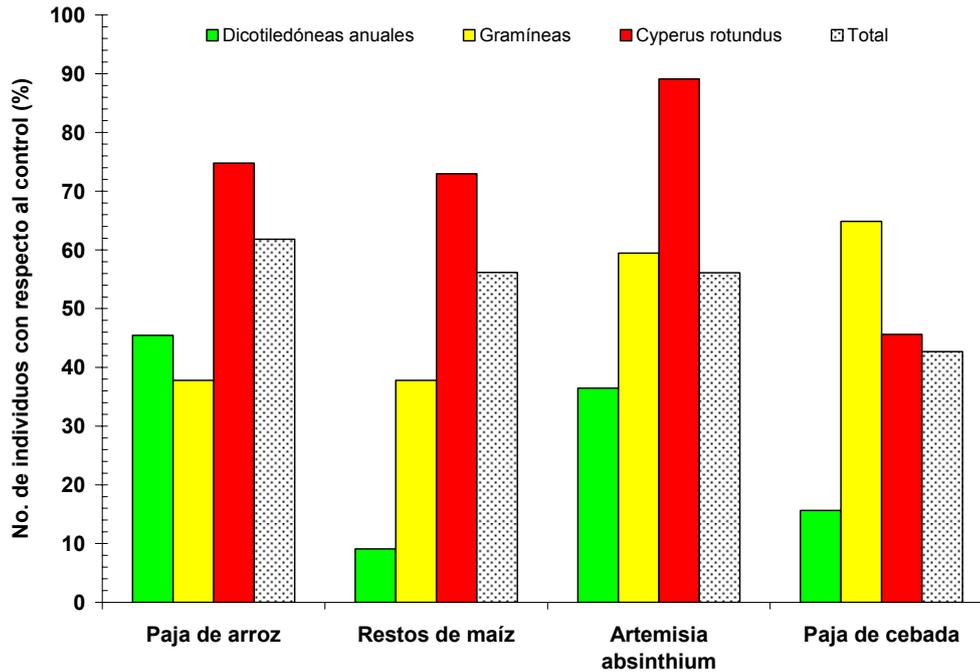


Figura 15. Comparación del porcentaje del número de individuos de malas hierbas con respecto al testigo (sin cubierta) entre las diferentes cubiertas en los ensayos realizados en cámara de cultivo.

Un primer análisis general de los datos obtenidos en este ensayo indica que las cubiertas lograron disminuir la incidencia de malezas con respecto al testigo sin cubierta en un promedio de 55% a los 35 días después de la aplicación de los mismos. Los resultados muestran la poca capacidad de reducción de la emergencia de *Cyperus rotundus* que poseen las cubiertas ensayadas, ya que en ninguno de los casos dicha reducción alcanzó niveles superiores al 45%. Un detalle importante que cabe resaltar es que la especie dicotiledónea más común en los diferentes tratamientos (en especial en la paja de arroz) fue *Convolvulus arvensis*, una especie que fue capaz de utilizar a las cubiertas como basamento para el desarrollo de sus tallos volubles. Esta observación se repitió en el ensayo de campo e indica una de las debilidades de las cubiertas orgánicas, como lo es la deficiencia en el control de plantas enredaderas y/o rastreras, ya que éstas tienen la habilidad de escapar a la barrera física que supone la cubierta de restos vegetales, aprovechando los espacios vacíos entre los componentes de la misma para emerger del suelo.

Con respecto a la pérdida de masa que sufrieron las cubiertas después de 35 días de ensayo, los datos indican que la paja de cebada tuvo una pérdida promedio de masa (en base seca) de 18,23%, la paja de arroz de 14,83%, los restos de cosecha de maíz de 39,06% y la *Artemisia absinthium* de 61,08%. Estos resultados corroboran la baja capacidad de persistencia que poseen los restos de *Artemisia absinthium* cuando son utilizados como cubierta del suelo, lo que merma su capacidad de control de malas

hierbas, en especial por el efecto físico de barrera que supone la cubierta. Sin embargo, el tiempo de permanencia de los restos vegetales para el control de malas hierbas parece ser suficiente para un cultivo de ciclo corto como lo es el tomate.

Un aspecto añadido que fue evaluado en este ensayo fue la cantidad de agua que fue necesario aplicar en los diferentes tratamientos para mantener el suelo en capacidad de campo. Si bien esta evaluación fue muy subjetiva, ya que en ningún momento se controló el nivel de humedad del suelo de manera cuantitativa, los datos recolectados indican que las bandejas sin cubierta consumieron en promedio hasta un 75% más agua que las bandejas con los diferentes tipos de cubierta. El orden en el consumo de agua entre los tratamientos con cubiertas fue *Artemisia*, seguida por los restos de maíz, la paja de arroz y, finalmente, la paja de cebada.

Como conclusión general de este ensayo se puede afirmar que en cuanto al control de malas hierbas las cubiertas se comportaron de forma similar, con una capacidad de media a baja para el control de la emergencia de malas hierbas.

5.3.2.- Ensayo general de campo

Cabe recordar que este grupo de ensayos fue el centro de la experimentación en la investigación y en él se aplicó la técnica en condiciones reales de producción, evaluando múltiples aspectos concernientes al comportamiento de las cubiertas y del cultivo. Los resultados obtenidos se presentarán en tres categorías: (a) impacto de las cubiertas sobre las malas hierbas, (b) valoración del efecto de las cubiertas sobre desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate y (c) impacto de la implementación de la técnica de cubiertas sobre el manejo del cultivo.

5.3.2.1.- Impacto del uso de las cubiertas evaluadas sobre las malas hierbas

a.- Estudio fitosociológico

La composición de especies y las características poblacionales de la flora arvense presente en un área tienen relación directa con el manejo que a la misma se le dé; así, si una especie no es controlada de forma eficiente por los métodos de control seleccionados tenderá a establecerse en el área y aumentar sus poblaciones, ya que su adaptación a los sistemas de manejo aplicados le proporciona ventajas competitivas frente a otras malas hierbas. Por ello es necesario evaluar de forma continua las poblaciones de malas hierbas presentes, en especial cuando se están adoptando cambios en el sistema de manejo de las mismas (Marcano, 2000).

Con base a estas premisas, a continuación se presentan los resultados de la evaluación fitosociológica realizada y la influencia de los tratamientos sobre la flora

arvense. En el cuadro 19 se presentan los valores del índice de valor de importancia (IVI) general, es decir, no diferenciado entre tratamientos, de las especies presentes en Zaragoza a 21 ddt.

Para la presentación y discusión de los resultados se escogió el formato numérico del IVI y no los tradicionales parámetros poblacionales de densidad, frecuencia y dominancia debido a que el IVI resume todos estos parámetros, brindando una visión general de los cambios fitosociológicos que se suceden en el tiempo.

Cuadro 19. Malas hierbas presentes en el ensayo de Zaragoza y sus valores de índice de valor de importancia (IVI). Se resaltan los valores de IVI que representan más del 80% del IVI total por año.

Especie	IVI
AÑO 2005	
<i>Cyperus rotundus</i> L.	<u>1,666</u>
<i>Portulaca oleracea</i> L.	<u>0,636</u>
<i>Chenopodium album</i> L.	<u>0,214</u>
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	0,140
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0,090
<i>Sinapis arvensis</i> L.	0,062
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	0,052
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	0,039
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0,030
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	0,026
<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roemer & Schultes	0,011
<i>Senecio vulgaris</i> L.	0,010
<i>Polygonum aviculare</i> L.	0,010
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	0,010
<i>Malva sylvestris</i> L.	0,005
AÑO 2006	
<i>Portulaca oleracea</i> L.	<u>1,567</u>
<i>Cyperus rotundus</i> L.	<u>0,671</u>
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	<u>0,380</u>
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	0,173
<i>Chenopodium album</i> L.	0,131
<i>Sinapis arvensis</i> L.	0,026
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0,025
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0,016
<i>Polygonum aviculare</i> L.	0,011
AÑO 2007	
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	<u>0,720</u>
<i>Cyperus rotundus</i> L.	<u>0,637</u>
<i>Portulaca oleracea</i> L.	<u>0,549</u>
<i>Chenopodium album</i> L.	<u>0,357</u>
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	<u>0,286</u>
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	0,224
<i>Sinapis arvensis</i> L.	0,115
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	0,051
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0,025
<i>Polygonum aviculare</i> L.	0,017
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0,009
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	0,008

Si bien varían en el orden entre los años de ensayo, son coincidentes las especies *Cyperus rotundus*, *Digitaria sanguinalis* y *Portulaca oleracea* como las de

mayor importancia en el área bajo ensayo en Zaragoza. Otras especies de importancia son *Chenopodium album*, *Convolvulus arvensis*, *Amaranthus retroflexus*, *Sinapis arvensis* y *Echinochloa colona*. Llama particularmente la atención la ganancia en el IVI que experimentó la especie *Digitaria sanguinalis* a lo largo del desarrollo de los ensayos y la diversificación entre las especies de importancia en el último año de ensayo. Las especies de importancia, con excepción de *Cyperus rotundus*, difieren de forma significativa de las reportadas en el ensayo 5.3.1, el cual se hizo en cámara de crecimiento. La enredadera *Convolvulus arvensis*, que se temió porque podía convertirse en un problema en los casos de cubiertas de restos vegetales, no fue una especie de importancia e incluso fue disminuyendo su importancia relativa a medida que se repitió el ensayo. En general, la flora arvense observada coincide con la indicada por Tei *et al.* (2001) como la de más común asociación al cultivo de tomate de industria en el mediterráneo.

Por otra parte, en el cuadro 20 se presentan los resultados del IVI general para las especies de malas hierbas presentes en el ensayo de Quíbor.

Cuadro 20. Malas hierbas presentes en el ensayo de Quíbor y sus valores de índice de valor de importancia (IVI). Se resaltan los valores de IVI que representan más del 80% del IVI total.

Espece	IVI
<i>Trianthema portulacastrum</i> L.	1.801
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	0.884
<i>Lagascea mollis</i> Cav.	0.136
<i>Datura stramonium</i> L.	0.106
<i>Portulaca oleracea</i> L.	0.073

Es posible observar que la flora arvense en Quíbor fue menos diversa que la observada en Zaragoza y que, en la práctica, sólo las especies *Trianthema portulacastrum* y *Echinochloa colona* tuvieron importancia en el área bajo ensayo. Llama la atención la coincidencia de las especies *Portulaca oleracea* y *Echinochloa colona* entre ambas localidades, lo que indica lo cosmopolita de estas especies y su común incidencia en el cultivo de tomate. Es importante aclarar que *Echinochloa colona* no es una especie típica de las zonas aledañas a Quíbor, las cuales se caracterizan por ser semiáridas; esta especie ha sido introducida por diferentes vías y se ha adaptado a la zona por la condición de baja infiltración que poseen los suelos, lo que produce que el agua de riego permanezca largo tiempo sobre el mismo, condición que le es favorable a esta especie de mala hierba.

Teniendo una visión general de la flora arvense en las áreas bajo estudio, seguidamente se presentan los resultados del IVI obtenidos para las especies de importancia en cada tratamiento. Se mantiene el criterio de considerar como especies importantes las que abarquen hasta el 80% del IVI total.

Cuadro 21. Valores promedios del IVI para las especies de mayor importancia de acuerdo al tratamiento aplicado para cada año de ensayo en Zaragoza. Se resaltan las especies con mayor IVI en cada tratamiento.

AÑO 2005					
Tratamiento	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Chenopodium album</i>		
Paja de arroz	1,171	1,065	0,121		
Paja de cebada	2,022	0,527	0,290		
Restos de maíz	2,151	0,449	0,084		
<i>A. absinthium</i>	1,897	0,292	0,481		
Mater-Bi®	2,035	0,621	0,041		
Saikraft®	1,645	0,253	0,000		
Polietileno	2,470	0,640	0,308		
Herbicida	1,380	0,897	0,163		
Escarda manual	1,912	0,525	0,098		
Testigo	1,835	0,403	0,267		
AÑO 2006					
Tratamiento	<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Digitaria sanguinalis</i>		
Paja de arroz	2,086	0,306	0,236		
Paja de cebada	1,449	0,599	0,080		
Restos de maíz	0,814	1,549	0,389		
<i>A. absinthium</i>	1,295	1,267	0,231		
Mater-Bi®	0,921	0,911	0,221		
Saikraft®	0,601	1,411	0,141		
Polietileno	1,689	0,803	0,242		
Herbicida	1,174	0,359	0,534		
Escarda manual	0,836	1,842	0,078		
Testigo	1,773	0,490	0,225		
AÑO 2007					
Tratamiento	<i>Digitaria sanguinalis</i>	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Amaranthus retroflexus</i>
Paja de arroz	0,726	1,258	0,063	0,349	0,275
Paja de cebada	0,991	0,923	0,193	0,322	0,225
Restos de maíz	1,283	0,771	0,049	0,450	0,202
<i>A. absinthium</i>	1,339	0,452	0,308	0,231	0,241
Mater-Bi®	0,115	2,239	0,117	0,164	0,073
Saikraft®	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Polietileno	0,000	2,208	0,045	0,158	0,208
Herbicida	0,446	2,160	0,050	0,063	0,000
Escarda manual	1,090	0,307	0,993	0,224	0,143
Testigo	1,328	0,382	0,827	0,152	0,059

Los resultados muestran una variación en los IVI de las especies consideradas más importantes entre tratamientos y entre años, tanto así que no se observa una tendencia clara de los tratamientos que actúan controlando mejor a especies en particular. Sólo el caso de la especie *Portulaca oleracea* se repite como especie de mayor importancia para la cubierta de paja de cebada en los años 2005 y 2006. En cuanto a *Digitaria sanguinalis*, al parecer esta especie es capaz de adaptarse con facilidad a la implementación de las cubiertas como método de control de malas hierbas (Teasdale, 2003), por lo cual no se controla efectivamente con esta técnica y

esta es la razón por la cual se impuso como una especie de alta importancia en estos tratamientos al final del ciclo de ensayos. Estos resultados coinciden con los de Teasdale *et al.* (1991) y con los Reddy *et al.* (2003), pero son contrastantes con los de Zamar *et al.* (2000) quienes observaron que las gramíneas anuales *Echinochloa colona*, *Digitaria sanguinalis* y *Eleusine indica* disminuyeron ante la presencia de restos de vicia (*Vicia sativus* L.) y de melilotus (*Melilothus albus* Desr.), y en el caso de cubierta de trigo, a pesar de que sólo fue aceptable el control sobre *E. colona*, se visualizó una tendencia a controlar también *D. sanguinalis* y *E. indica*.

Se hace evidente una mayor diversidad de la flora arvense durante el año 2007. Algunos índices que expresan la diversidad de la flora en diferentes escalas espaciales, como el índice de biodiversidad de Shannon-Wiener, el cual es denominado comúnmente de forma incorrecta como índice de Shannon-Weaver (Booth *et al.*, 2003), el índice de uniformidad (*E*) o el índice de Simpson coinciden en que la riqueza en la diversidad de la flora de un área esta en función no sólo del número de especies, sino también de la uniformidad de la proporción entre dichas especies (Anzalone y Casanova, 2004). Al considerar estos conceptos en los resultados obtenidos para el IVI, es posible afirmar que el mayor número de especies de importancia en el año 2007 con la inclusión de la especies *Amaranthus retroflexus* y *Chenopodium album* se debe a la combinación de dos causas: la primera es un mejor control de las especies que en años anteriores fueron más dominantes (*Cyperus rotundus* y *Portulaca oleracea*), modificando así los valores del IVI, que son relativos no sólo al número de especies presentes, sino también a sus características poblacionales; la segunda causa es que, si bien tres años de manejo pueden ser pocos para modificar la flora arvense de un área, las malas hierbas presentes han ido adaptando sus poblaciones a las nuevas condiciones de manejo, haciendo que ciertas especies sean más abundantes en tratamientos en particular. Tal situación es indicada por Zamar *et al.* (2000), quienes concluyen que cada tipo de residuo vegetal evaluado por ellos incrementó la emergencia de ciertas especies de malas hierbas en particular. Esta situación se evidencia en los resultados presentados, ya que en el último año de ensayos se observa de forma general que en los tratamientos con cubiertas de restos vegetales coexisten más especies que en los tratamientos con cubiertas plásticas, herbicida o papel. En este sentido Bilalis *et al.* (2003) indican altos valores del índice de Shannon-Weiner en tratamientos de no laboreo con presencia de cubiertas orgánicas en el suelo, lo cual se traduce en alta riqueza de especies.

Resalta que en el primer año de ensayo la especie *Cyperus rotundus* es la de mayor importancia en todos los tratamientos, pero este nivel de importancia va

disminuyendo en prácticamente todos los tratamientos, pero en especial en aquellos con cubiertas de restos vegetales; sin embargo, esta especie, mantuvo altos valores de IVI durante los tres años, incluso hasta ser la especie de mayor importancia en cubiertas como el papel, el polietileno y plástico biodegradable en algunos años, lo que indica la limitada capacidad de control de esta especie por todas las cubiertas ensayadas. Tu *et al.* (2001) indican que las plantas perennes no son bien controladas por las cubiertas, ya que estas plantas pueden acumular grandes reservas que se utilizan para emerger del suelo atravesando la cubierta. En este punto es necesario destacar que las plantas de *Cyperus rotundus* observadas en el tratamiento correspondiente a cubierta con papel, emergían del suelo sólo por los agujeros que se hicieron para el trasplante del tomate, así como por pequeñas roturas del material y en ningún caso se observó que esta especie fuera capaz de atravesar el papel, lo que sí sucedía en los tratamientos con cubiertas plásticas.

Por su parte, la especie *Convolvulus arvensis*, una mala hierba potencialmente dañina en los sistemas de cubiertas por su hábito de crecimiento, fue disminuyendo su nivel de importancia a medida que se desarrollaron los ensayos y nunca se consideró una especie de importancia para ninguno de los tratamientos. Bajo algunas condiciones las cubiertas de restos vegetales pueden controlar efectivamente plantas enredaderas; en este sentido Reddy *et al.* (2003) indican que el uso de cubiertas de restos de *Secale cereale* y *Trifolium incarnatum* en un cultivo de soja redujeron la densidad de *Echinochloa crus-galli*, *Brachiaria platyphylla*, *Brachiaria ramosa*, *Euphorbia hyssopifolia* y de la planta anual enredadera *Ipomoea hederacea*. Coincidente con Tu *et al.* (2001) estos investigadores reportan que las cubiertas evaluadas no afectaron la emergencia de *Cyperus esculentus*, una planta perenne.

De similar forma destaca que la presencia de malas hierbas con semillas de pequeño tamaño como *Digitaria sanguinalis*, *Portulaca oleracea*, *Chenopodium album* y *Amaranthus retroflexus* se hace cada vez más importante en los ensayos; esta situación parece extraña en especial en los tratamientos donde se utilizan cubiertas, ya que se esperarían que estas especies de semillas pequeñas serían fácilmente controladas por las cubiertas, no sólo por la acción física de la misma sobre las semillas y plántulas, sino por la limitación en el acceso a la luz, ya que existe una mayor sensibilidad a la luz en semillas pequeñas frente a aquellas de mayor tamaño (Cirujeda y Taberner, 2006). Sin embargo, hay que considerar que no sólo la luz y el fotoblastismo de las semillas de malas hierbas son factores que determinan su germinación, sino que la temperatura, el tiempo de almacenamiento de las semillas en el suelo, los niveles de nitrato, oxígeno y CO₂ en el suelo, entre otros factores también

tiene alta influencia en dicho proceso, además de forma específica sobre especies particulares Eagly, 1988; (Cirujeda y Taberner, 2006), por lo que es difícil estimar y separar el impacto que pueda tener la limitación de luz que impone una cubierta sobre la germinación de semillas de malas hierbas. En este sentido se han realizado muchos estudios de la relación entre la germinación y factores como la temperatura, edad de la semilla, nivel de oxígeno y el estado hídrico del suelo o las semillas; por ejemplo, Cristaudo *et al.* (2007) en un estudio sobre la influencia del tiempo de poscosecha y de las condiciones ambientales sobre la germinación de diferentes especies del género *Amaranthus*, indican que las semillas de *Amaranthus retroflexus* no germinan a temperaturas de 10°C, pero alcanzan 60% de germinación a 15°C y que las especies estudiadas responden de forma diferencial a la luz como requisito para la germinación. Por su parte, Benvenuti y Macchia (1999) indican que puede existir una relación estrecha entre la actividad de la luz azul y la disponibilidad de oxígeno en la germinación de *Amaranthus retroflexus*, mientras que Pita y Durán (1984) concluyeron que, en general, el grupo de especies del género *Amaranthus* evaluadas por ellos (*A. tricolor*, *A. lividus*, *A. caudatus*, *A. hybridus*, *A. retroflexus*, *A. albus* y *A. blitoides*) poseen alta capacidad de germinación en la oscuridad de forma independiente a la temperatura y que la fotosensibilidad de estas especies es negativa a temperaturas menores a 30°C y positiva a temperaturas mayores a 30°C, lo que explica el porque esta especie puede desarrollarse de forma ventajosa en sistemas de cubiertas en cultivos de primavera-verano, donde las fases iniciales del cultivo suceden en los días frescos aún de la primavera. Los resultados de estas investigaciones apuntan a que los procesos de germinación en especies del género *Amaranthus*, entre ellas *A. retroflexus*, se desencadenan por la conjunción de una serie de eventos muchos más complejos que la simple disponibilidad de luz.

Una situación similar se presenta en el caso de *Portulaca oleracea*, cuya germinación de semillas esta controlada no sólo por la incidencia de la luz, sino por la temperatura, la edad de la semillas e inclusive el biotipo de la especie (Singh, 1973). Ferrari y Leguizamón (2006) indican que las semillas de *Portulaca oleracea* exhiben una fuerte dependencia de la luz para germinar bajo cualquier régimen térmico, ya sea constante o alternado, y que las semillas recientemente dispersadas no exhiben dormición y presentan una viabilidad muy elevada, del orden del 90%. Además reportan que la temperatura base para la germinación es de 14,9°C, aunque la óptima es de 35,5°C con un umbral mínimo de potencial agua de -1,13 MPa; estos resultados indican que la germinación de las semillas de esta especie esta controlada por una combinación de los factores luz, temperatura y humedad, y si bien en los tratamientos

con cubiertas se limitó la disponibilidad de luz, tanto la humedad como la temperatura del suelo fueron modificadas, según los resultados obtenidos, estas modificaciones favorecieron la germinación y el establecimiento de esta especie.

En los casos de *Digitaria sanguinalis* y *Chenopodium album*, estas especies parecen ser marcadamente fotoblásticas positivas (Vasconcelos *et al.* 1984; Gadhiri y Nazi, 2005), lo que puede explicar el bajo nivel de importancia de *Chenopodium album* en los tratamientos con cubiertas, donde existe una fuerte limitación de luz; sin embargo, parece una contradicción en el caso del aumento de la importancia de *Digitaria sanguinalis* en dichos tratamientos y, siendo que ya se ha reportado que esta especie es poco afectada por las cubiertas de suelo (Teasdale, 2003), es razonable pensar que no sólo es el factor luz el que determina la germinación de *D. sanguinalis*.

En conclusión, si bien las cubiertas imponen una importante (no total) limitación en la disponibilidad de luz para las semillas en el suelo, existe evidencia sustancial que indica que en la mayoría de los casos las variables ambientales que juegan un papel central en la ruptura de la dormición y definen el patrón de emergencia son la temperatura y la humedad del suelo (Ferrari y Leguizamón, 2006) y, debido que estos dos parámetros son modificados de forma importante por las cubiertas de suelo, es difícil predecir el comportamiento de la emergencia de semillas en sistemas de cubiertas considerando sólo el nivel de limitación de luz que las mismas ejercen sobre el suelo.

Las variaciones que se suceden en los patrones de germinación de malas hierbas al utilizar diversos tipos de cubiertas de restos vegetales dependen de muchos factores, por lo que los estudios deben ser hechos bajo condiciones locales, ya que pueden sucederse contradicciones en los resultados obtenidos bajo diversas situaciones; por ejemplo, Moore *et al.* (1994) encontraron que cultivos de cobertura utilizados como mulch (centeno, trigo y triticale) no afectaron los patrones de emergencia de *Chenopodium album* ni *Amaranthus retroflexus* y que dichas cubiertas no tuvieron un efecto sobre el cultivo de soja; por el contrario, Shilling *et al.* (1985) citados por Liebl *et al.* (1992) encontraron que la paja de centeno fue capaz de suprimir la biomasa aérea de *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* y *Ambrosia artemisiifolia*. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que las especies *Chenopodium album* y *Amaranthus retroflexus* fueron bien controladas durante los primeros años de ensayo, pero que ganaron importancia durante el tercer año.

Por otra parte, los resultados de la valoración para el IVI por tratamiento en Quíbor se presentan en el cuadro 22. A pesar de encontrarse fuera de las especies de

importancia según el criterio aplicado se decidió incluir a *Lagascea mollis* en dicho cuadro, debido a la importancia de esta especie en la zona.

Cuadro 22. Valores promedios del IVI para las especies de mayor importancia de acuerdo al tratamiento aplicado en el ensayo de Quíbor.

Tratamiento	<i>Trianthema portulacastrum</i>	<i>Echinochloa colona</i>	<i>Lagascea mollis</i>
Paja de arroz	1,674	0,609	0,342
Restos de maíz	2,004	0,458	0,276
Serrín de madera	1,826	0,793	0,000
Papel	0,000	0,000	0,000
Polietileno	0,000	0,000	0,000
Herbicida	0,000	1,500	0,000
Escarda manual	1,992	0,649	0,201
Testigo	2,413	0,320	0,150

En este caso se hace notable el efectivo control de las especies importantes por las cubiertas de papel y polietileno, así como el buen nivel de control alcanzado por el herbicida. Sólo *Trianthema portulacastrum*, una especie de hábito de crecimiento rastrero/procumbente, y *Echinochloa colona* se presentan como malezas de importancia, en especial en los tratamientos correspondientes a las cubiertas, la escarda manual y, por supuesto, el testigo. El herbicida fue incapaz de controlar de forma eficiente a *E. colona*. También destaca el excelente control de *Lagascea mollis* por el serrín de madera, fenómeno que puede estar ligado a interacciones químicas entre la cubierta y la especie. Esta especie es reportada por Ramakrishna *et al.* (2006) como una mala hierba importante y común en campos para la producción de cacahuetes (*Arachis hypogaea*) en Vietnam y que el nivel de control alcanzado con cubiertas de paja de arroz fue de medio a bajo, coincidiendo con los resultados anteriormente presentados.

En el ensayo de Quíbor, por haber sido realizado durante sólo un año, es inapropiado hacer estudios del comportamiento fitosociológico de las malas hierbas, ya que los datos que se poseen son limitados y las conclusiones que de ellos se deriven pueden ser poco confiables. Sin embargo, dados los resultados obtenidos se esperarían cambios temporales en la flora arvense en algunos tratamientos, ya que el predominio de algunas especies y el hecho de que las mismas hayan llegado a etapa reproductiva, es un factor determinante en el predominio de estas especies en etapas posteriores al ensayo.

b.- Cobertura del suelo por malas hierbas

Para un primer análisis de esta variable a continuación se presentan las figuras 16, 17 y 18 correspondientes a los tres años de ensayo en Zaragoza, en las cuales se

resumen los resultados obtenidos para la cobertura del suelo por malas hierbas a 21, 42 y 63 días después de la aplicación de los tratamientos.

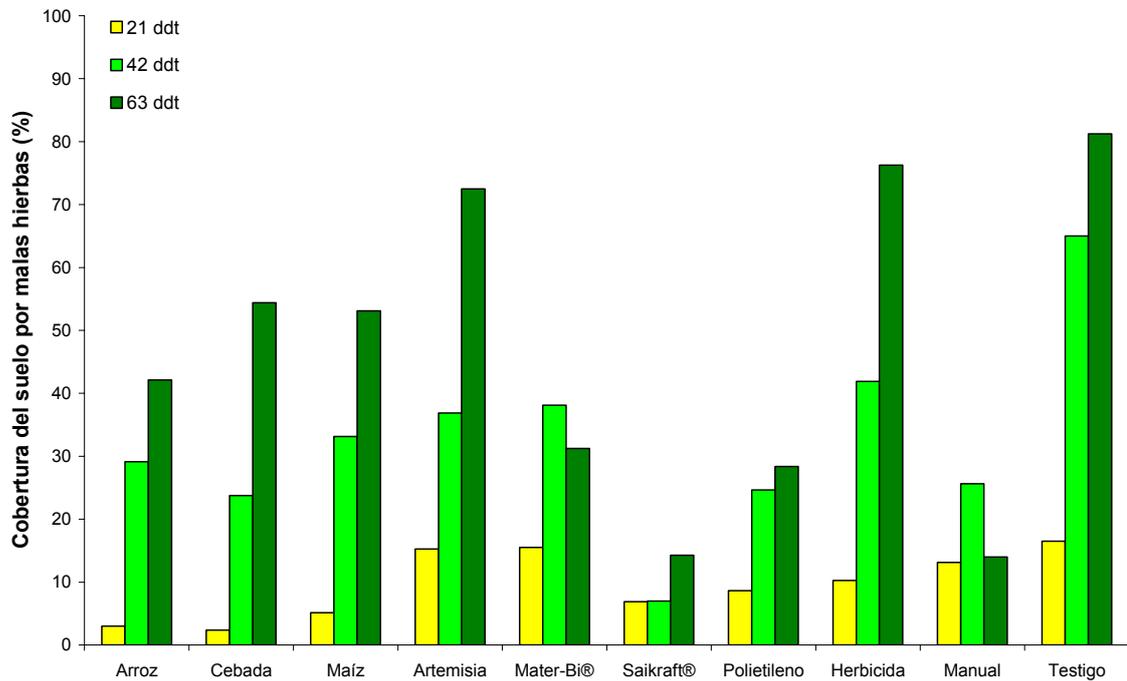


Figura 16. Porcentaje de cobertura del suelo por malas hierbas para el ensayo de Zaragoza. Año 2005. ddt=días después del tratamiento.

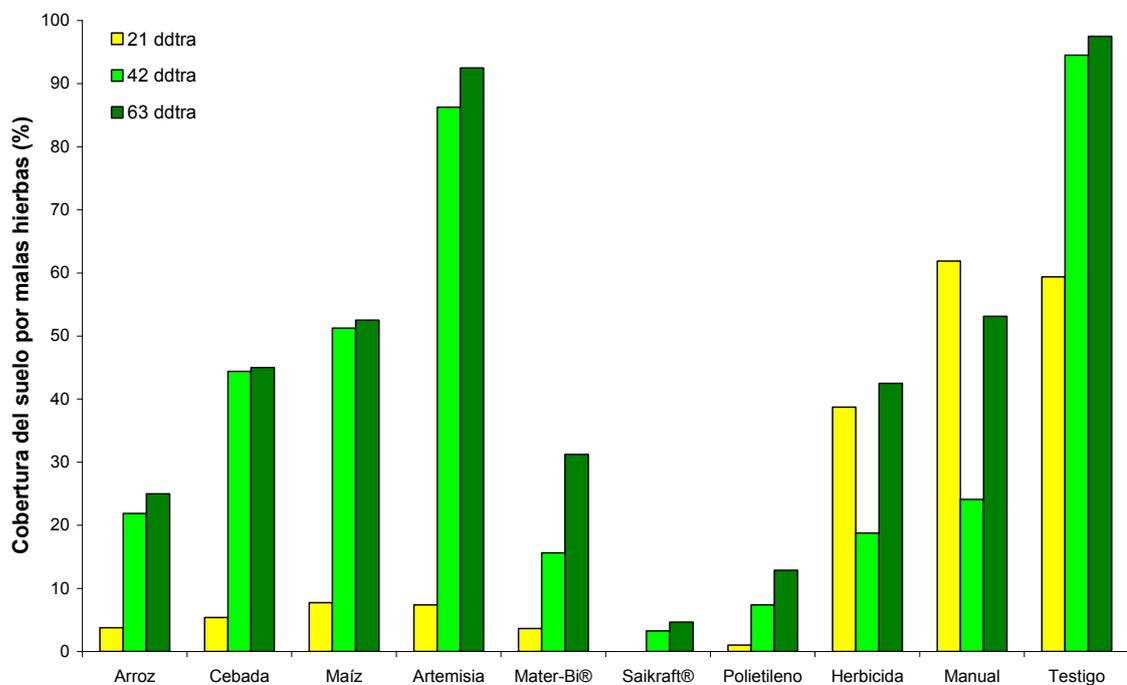


Figura 17. Porcentaje de cobertura del suelo por malas hierbas para el ensayo de Zaragoza. Año 2006. ddt=días después del tratamiento.

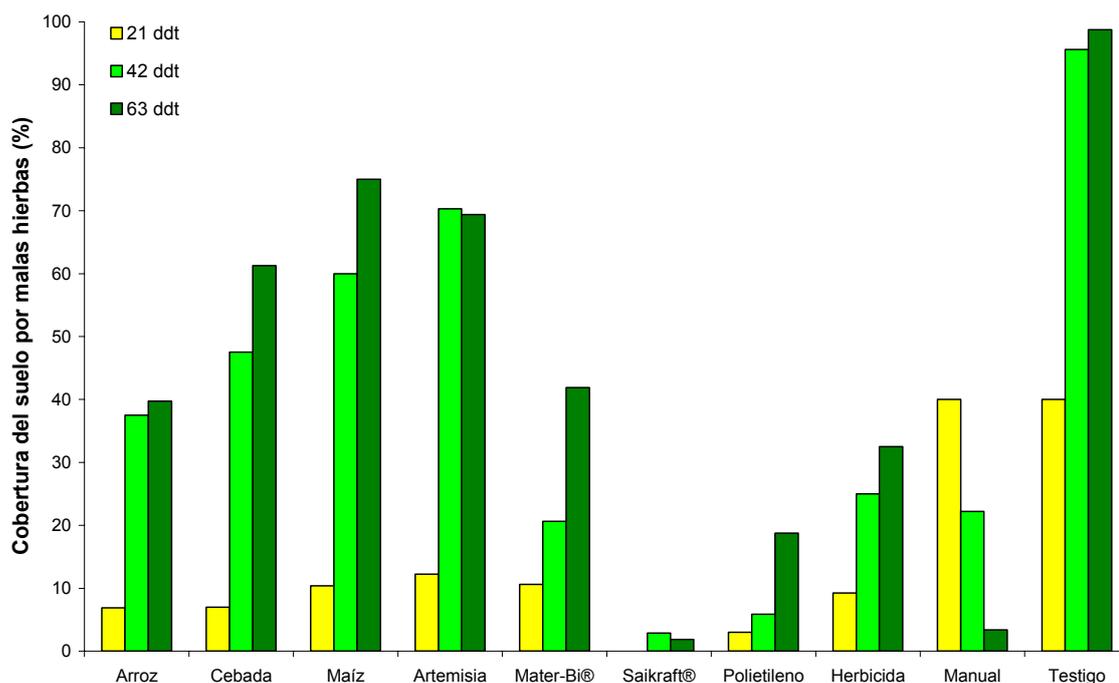


Figura 18. Porcentaje de cobertura del suelo por malas hierbas para el ensayo de Zaragoza. Año 2007. ddt=días después del tratamiento.

Con algunas diferencias entre los años, es posible observar que en general los menores niveles de cobertura del suelo por malas hierbas se alcanzaron con el uso del papel y el polietileno, seguidos por el plástico biodegradable, el herbicida y la escarda manual. Los tratamientos correspondientes a cubiertas con restos vegetales obtuvieron valores de cobertura del suelo por malas hierbas intermedios, pero siempre menores que el testigo; también se observa en este tipo de cubiertas un ligero aumento en los valores de la cobertura del suelo por malas hierbas a medida que se repetía el ensayo.

A pesar de que las cubiertas derivadas de restos vegetales lograron mantener la cobertura por malas hierbas en niveles bajos en los primeros días de desarrollo del cultivo, en general se puede concluir que se comportaron de forma poco eficiente en el control de esta variable, especialmente en el caso de la cubierta con *Artemisia absinthium*. Estos resultados coinciden con los obtenidos en el ensayo de evaluación de las cubiertas bajo condiciones controladas. Los altos niveles de cobertura del suelo por malas hierbas obtenidos hacia finales del ciclo en los tratamientos con cubiertas de restos vegetales, se deben a que las especies que no eran controladas eficientemente por estas cubiertas fueron capaces de desarrollarse de forma vigorosa, en parte debido a la falta de interferencia de otras especies malas hierbas que fueron controladas por estos tratamientos. El tratamiento correspondiente a la escarda manual presenta variaciones importantes el comportamiento de la cobertura por malas

hierbas entre años, debido principalmente a cambios en las fechas de aplicación del control; para el año 2007 estas fecha fueron ajustadas y se observa que este método de control mejora notablemente su eficiencia en el control de malas hierbas. Sin embargo, la escarda manual posee todas las desventajas propias de los métodos de control manuales y su eficiencia, tal como quedó demostrado, se basa en la oportuna aplicación del mismo.

Continuando el análisis de los resultados, para cada fecha de evaluación se aplicó un análisis de varianza y en aquellos casos que se detectó efecto de tratamiento se realizó una separación de medias utilizando el test LSD (cuadro 23).

Cuadro 23. Separación de medias para la cobertura del suelo por malas hierbas (%) por año de ensayo en Zaragoza. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$). ddt= días después de la aplicación de los tratamientos.

Año 2005			
Tratamiento	21 ddt	42 ddt	63 ddt
Paja de arroz	3,00 c	29,13 b	42,13 cd
Paja de cebada	2,38 c	23,75 bc	54,38 abc
Restos de maíz	5,13 bc	33,13 b	53,13 bc
A. <i>absinthium</i>	15,25 a	36,88 ab	72,50 ab
Mater-Bi®	15,50 ab	38,13 ab	31,25 de
Saikraft®	5,88 bc	7,00 c	14,25 e
Polietileno	8,63 abc	24,63 bc	28,38 de
Herbicida	10,25 abc	41,88 ab	76,25 ab
Escarda manual	13,13 ab	25,63 bc	14,00 e
Testigo	16,50 a	65,00 a	81,25 a
Año 2006			
Paja de arroz	3,75 c	21,88 cd	25,00 e
Paja de cebada	5,38 c	44,38 bc	45,00 bc
Restos de maíz	7,75 c	51,25 b	52,50 b
A. <i>absinthium</i>	7,38 c	86,25 a	92,50 a
Mater-Bi®	3,63 c	15,63 de	31,25 cd
Saikraft®	0,00 d	3,25 f	4,63 f
Polietileno	1,00 cd	7,38 ef	12,88 e
Herbicida	38,75 b	18,75 de	42,50 bcd
Escarda manual	61,88 a	24,13 cd	53,13 b
Testigo	59,38 a	94,50 a	97,50 a
Año 2007			
Paja de arroz	6,88 bc	37,50 de	39,75 cd
Paja de cebada	7,00 bc	47,50 cd	61,25 bc
Restos de maíz	10,38 b	60,00 bc	75,00 ab
A. <i>absinthium</i>	12,25 b	70,31 b	69,38 ab
Mater-Bi®	10,63 b	20,63 f	41,88 cd
Saikraft®	0,00 d	2,88 g	1,88 f
Polietileno	3,00 c	5,88 g	18,75 e
Herbicida	9,25 b	25,00 ef	32,50 de
Escarda manual	40,00 a	22,19 f	3,38 f
Testigo	40,00 a	95,63 a	98,75 a

De manera de resumir los datos obtenidos para esta variable en Zaragoza, en la figura 19 se presenta el promedio de la cobertura del suelo por las malas hierbas para los tres años de ensayos.

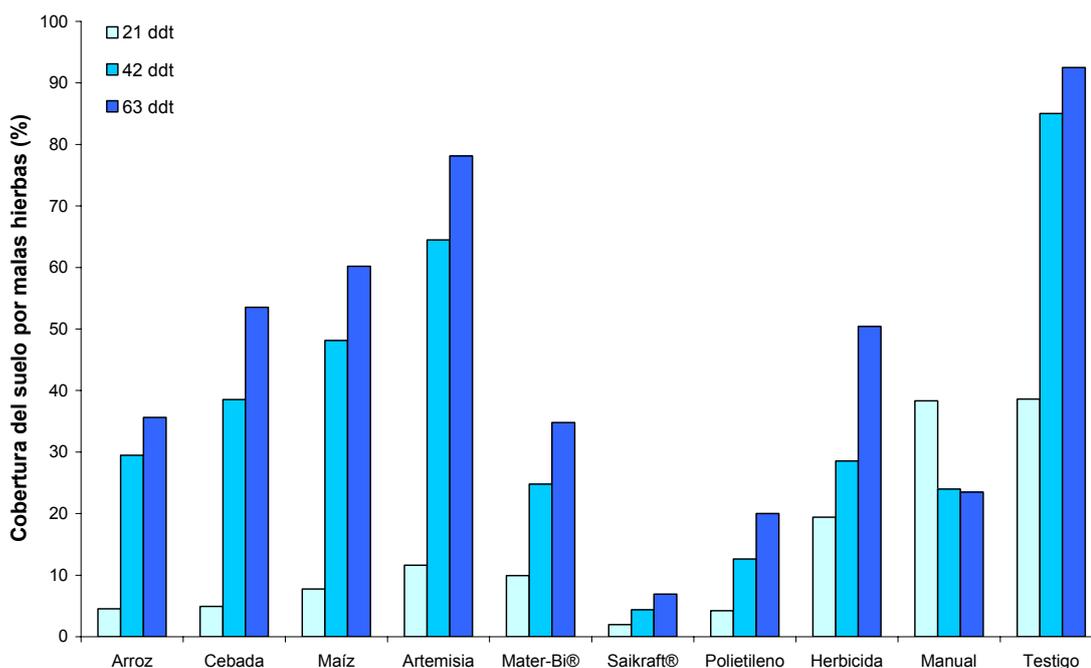


Figura 19. Promedio de cobertura del suelo por malas hierbas para los tres años de ensayo en Zaragoza. ddt=días después del tratamiento.

Se evidencia como la cubierta correspondiente al papel fue la que obtuvo el menor valor promedio de cobertura del suelo por malas hierbas, seguido del polietileno y el plástico biodegradable. Entre las cubiertas de restos vegetales se observa a la paja de arroz con los menores niveles para esta variable, seguidos de la paja de cebada y el maíz, con comportamiento similar entre ellos y, por último, la cubierta correspondiente a la *Artemisia*, a pesar de que esta última mejoró un poco su desempeño para el año 2007 al ser mezclada con restos de cosecha de maíz. Llama la atención que el tratamiento correspondiente al herbicida es, en muchos casos, menos eficiente que el de la paja de arroz para el control de la cobertura del suelo por malas hierbas. Otro aspecto que es importante resaltar es la desproporción que se observa entre los niveles de cobertura inicial y final entre los tratamientos de cubiertas con restos vegetales y los correspondientes a plásticos y papel; si bien los niveles de cobertura del suelo por malas hierbas iniciales son similares entre estos grupos de tratamientos, al final del ciclo se observa un aumento importante en los primeros, no sucediendo así en los segundos. Esta situación puede ser explicada por dos razones: una es que las cubiertas de restos vegetales están sólo retrasando la emergencia y establecimiento de las malezas y/o que las especies que escapan al control en estos tratamientos poseen mayor capacidad de cubrir el suelo luego de que emergen de la cubierta. Si se detallan los resultados del IVI en los tratamientos con plásticos o papel, se notará que la especie dominante en los mismos es *Cyperus rotundus*, una planta que después de atravesar la cubierta plástica, lo cual hace con facilidad, o de escapar

por las roturas del papel, produce un follaje limitado que poco cubre el suelo al compararlo con *Portulaca oleracea* o *Digitaria sanguinalis*, que son la especies predominantes en los tratamientos de cubiertas de restos vegetales y que poseen alta capacidad de cubrir el suelo, en especial el caso de *Portulaca oleracea*.

Radics *et al.* (2006) evaluaron 8 tipos de cubiertas y tratamientos de deshierbe manual y herbicida durante 5 años en tomate orgánico e indican que los tratamientos con cubiertas plásticas, restos de gramíneas repicadas y el papel tuvieron buen desempeño en la supresión inicial de las malas hierbas, pero se diferenciaron al final del ciclo, tal como sucedió en los resultados de esta investigación.

Por otra parte, en el cuadro 24 se presenta la separación de medias (LSD con $\alpha=0,05$) para la cobertura del suelo por malas hierbas en Quibor.

Cuadro 24. Separación de medias para la cobertura del suelo por malas hierbas en Quibor. ddt=días después del tratamiento

Cobertura del suelo por malas hierbas (%)			
Tratamiento	21 ddt	42 ddt	63 ddt
Paja de arroz	1,92 d	10,08 bcd	20,00 cd
Restos de maíz	6,75 c	11,08 bc	24,17 c
Serrín de madera	9,92 bc	12,50 b	56,67 b
Papel	0,17 d	0,25 e	14,67 cde
Polietileno	0,00 d	1,58 de	4,58 de
Herbicida	0,92 d	0,17 e	1,92 e
Escarda manual	15,00 a	2,75 cde	1,50 e
Testigo	11,83 ab	32,08 a	77,92 a

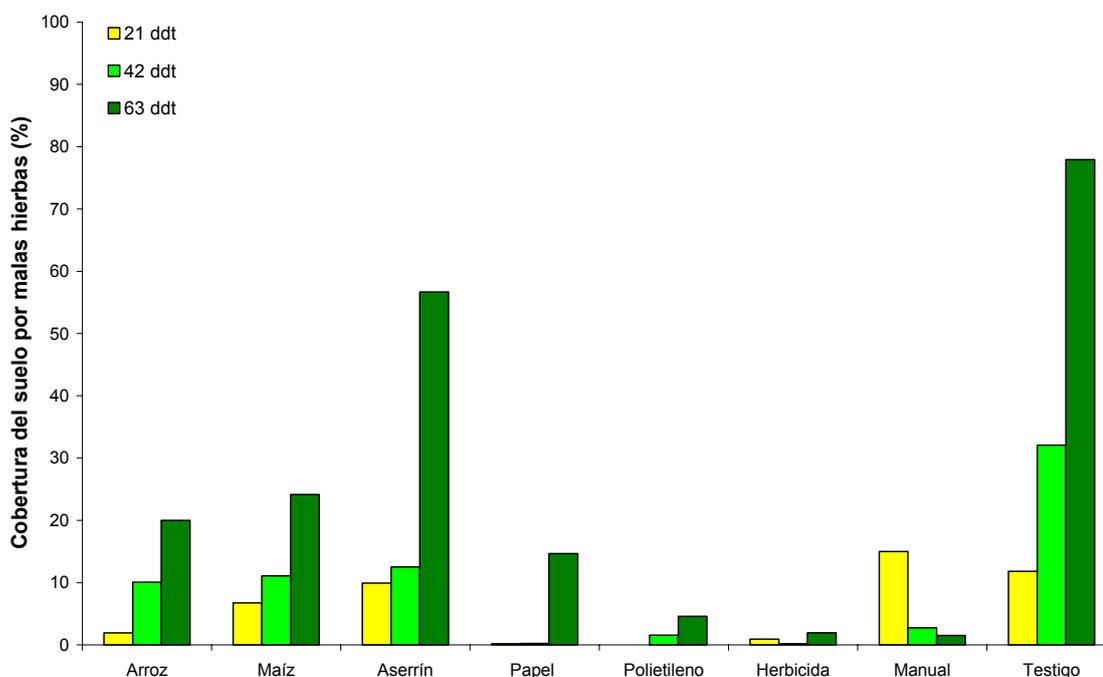


Figura 20. Porcentaje de cobertura del suelo por malas hierbas para el ensayo de Quíbor. ddt=días después del tratamiento.

Los resultados obtenidos en esta localidad para todas las variables evaluadas en el aspecto de malas hierbas se diferencian de los de Zaragoza por la menor incidencia de malas hierbas, considerando, por supuesto, las diferencias en la composición florística entre localidades. Destacan la alta eficiencia en el control de malas hierbas alcanzada por el herbicida, el control manual, el polietileno y, en menor proporción, el papel. De similar forma que en el caso de Zaragoza, las cubiertas de restos vegetales y el serrín de madera obtuvieron valores parecidos entre sí, pero siempre menores a los de la cubierta plástica y el papel. Cabe recordar que en este ensayo los restos de cosecha de maíz fueron picados en pequeños trozos antes de su colocación en el campo, y la comparación visual entre este sistema y el utilizado en Zaragoza (donde se colocaron tal y como se recogían de campo) apunta hacia un mejor desempeño de la cobertura para el control de malas hierbas, en especial sobre dicotiledóneas.

c.- Biomasa seca de malas hierbas

Sobre los datos de biomasa seca de malas hierbas se aplicó un análisis de varianza en cada año de ensayo y en todos los casos se encontró que existió efecto de tratamiento ($P < 0,001$) con valores de coeficiente de variación siempre menores a 28%. No fue necesaria la transformación de los datos, ya que cumplieron con los supuestos para el análisis de varianza.

En el cuadro 25 se presenta la separación de medias para la biomasa seca de malas hierbas ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) a 63 días después de la aplicación de los tratamientos, mientras en la figura 21 se resumen los valores de esta variable para los tres años de ensayos en Zaragoza en la misma fecha de evaluación.

Cuadro 25. Separación de medias para el peso de la biomasa seca de malas hierbas a 63 días después de la aplicación de los tratamientos en Zaragoza. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Biomasa seca de malas hierbas ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)		
	Año 2005	Año 2006	Año 2007
Paja de arroz	150,35 cd	333,70 b	165,69 cd
Paja de cebada	90,82 de	357,90 b	188,50 bc
Restos de maíz	415,62 ab	336,50 b	251,19 bc
A. absinthium	298,08 bc	932,60 a	361,25 b
Mater-Bi®	96,90 de	172,40 bc	57,75 de
Saikraft®	28,37 e	115,90 c	19,81 fg
Polietileno	68,03 de	63,80 c	43,50 ef
Herbicida	402,01 ab	304,20 bc	49,69 de
Escarda manual	30,93 de	306,44 b	4,06 g
Testigo	1058,81 a	739,80 a	665,56 a

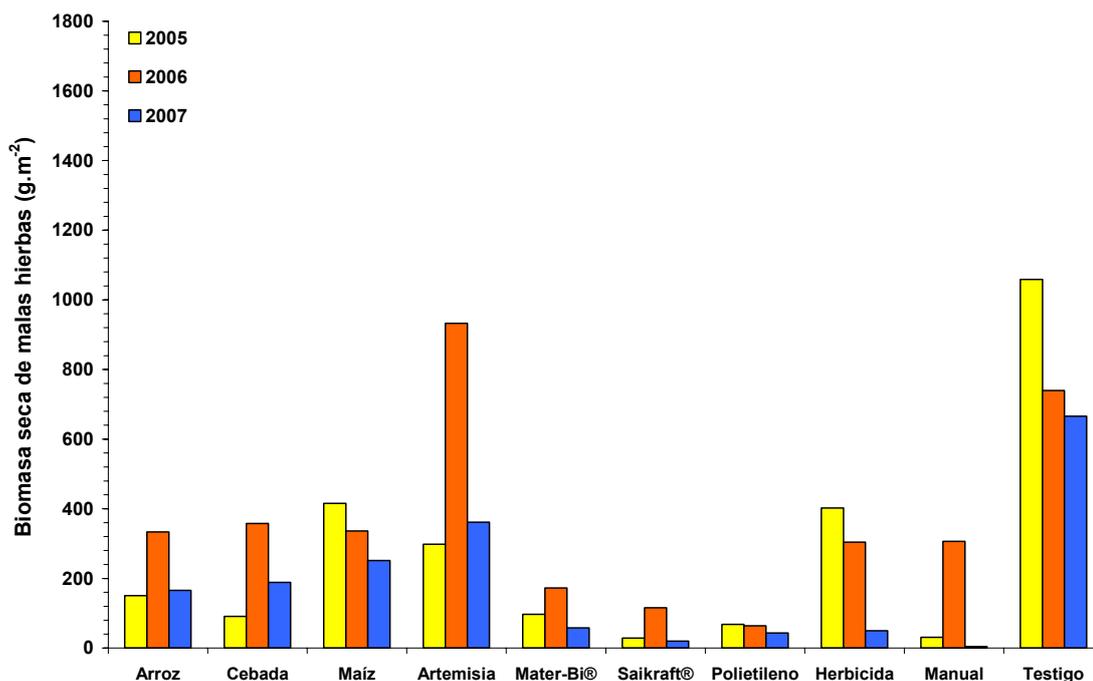


Figura 21. Biomasa seca de las malas hierbas después de 63 días de aplicados los tratamientos en Zaragoza.

El tratamiento que resultó en los menores valores promedios de biomasa de malas hierbas en los tres años de ensayo fue el papel, seguido del plástico biodegradable y el polietileno, aunque con variaciones entre años. Los tratamientos correspondientes a las cubiertas de restos vegetales presentan valores altos de biomasa de malas hierbas, pero siempre menores al testigo. Se observa una notable mejora de los tratamientos con escarda manual y herbicida; de similar forma el tratamiento con *Artemisia* mejoró notablemente su desempeño al ser mezclada con restos de cosecha de maíz en el año 2007.

Una forma de visualizar lo ocurrido a través del tiempo en cada una de las variables evaluadas para los diferentes tratamientos es aplicando un análisis de varianza en parcelas divididas, siendo el factor principal el tiempo (año del ensayo) y el factor secundario el tratamiento. Desde el punto de vista estadístico es posible aplicar este tipo de análisis sobre los datos obtenidos del ensayo de campo porque los tratamientos siempre fueron aplicados en las mismas parcelas, por lo que hay correspondencia espacial en la aplicación de los tratamientos a través del tiempo de duración del ensayo.

Al aplicar este modelo de análisis a los datos de biomasa seca de malas hierbas para los tres años de ensayo, se obtuvo que existen diferencias significativas entre los años de ensayo ($P=0,0017$) y entre los tratamientos ($P=0,0000$), más no así para la interacción año de ensayo-tratamiento ($P=0,08$), lo que permite analizar los

resultados por factor individual. Los resultados de las pruebas de medias aplicadas a ambos factores se presentan en el cuadro 26.

Cuadro 26. Separación de medias de la biomasa seca de malas hierbas a los 63 ddt para tratamientos y años de ensayo en Zaragoza. Se ordenan de mayor a menor. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Biomasa seca de malas hierbas (g.m ⁻²)	Año	Biomasa seca de malas hierbas (g.m ⁻²)
Testigo	821,39 a	2006	366,32 a
A. absinthium	540,64 b	2005	263,99 b
Restos de maíz	334,44 c	2007	180,70 c
Herbicida	251,97 cd		
Paja de arroz	216,58 cde		
Paja de cebada	212,41 cde		
Escarda manual	113,81 de		
Mater-Bi®	109,02 de		
Polietileno	58,44 e		
Saikraft®	54,69 e		

Los mayores valores de biomasa de malas hierbas son alcanzados por el tratamiento testigo, seguido de la *Artemisia*. De entre el resto de cubiertas de origen vegetal aplicadas, la que obtuvo el menor valor promedio de biomasa de malas hierbas en los tres años de ensayo fue la paja de arroz, similar a la paja de cebada, a los restos de maíz y al herbicida. El plástico biodegradable se comportó igual que la escarda manual. Los tratamientos con papel y polietileno obtuvieron el mejor desempeño en la reducción de la biomasa seca de las malas hierbas. El caso particular de la *Artemisia* es resaltante, ya que se esperaba que esta cubierta manifestara su potencial alelopático en el control de malas hierbas, mientras los datos indican que no fue así. En general existe correspondencia en el efecto de los tratamientos para las variables cobertura del suelo y biomasa seca de malas hierbas; sin embargo, parece extraño que la cobertura general del suelo por malas hierbas va en aumento a medida que transcurren los años de ensayo, mientras que la menor cantidad de biomasa seca de malas hierbas se obtuvo precisamente en el último año de ensayos. Este fenómeno se explica por la naturaleza de las especies presentes y los cambios en la flora dominante en los ensayos, ya que para el último año predominaron especies como *Digitaria sanguinalis* y *Portulaca oleracea*, plantas que si bien, como ya se ha comentado, presentan alta capacidad de cubrir el suelo, su porte limitado indica poca acumulación de biomasa seca. Un caso similar se presenta con *Cyperus rotundus*, planta importante durante el último año de ensayo y que no posee mucha capacidad de cubrir el suelo, pero que a su vez produce limitada biomasa aérea. Por último cabe comentar que la diferencia observada en los valores de materia seca de malas hierbas entre el polietileno y el plástico biodegradable se debe a que este segundo material es más fácilmente atravesado por *Cyperus rotundus*, además

de ser más frágil, por lo cual se rompe con facilidad; estas condiciones permitieron un mayor desarrollo no sólo de *Cyperus rotundus*, sino también de otras malas hierbas.

Como conclusión general del efecto de los tratamientos evaluados sobre la biomasa seca de malas hierbas se puede afirmar que los tratamientos que limitan mejor la producción de biomasa de malas hierbas son el papel y el polietileno; en un segundo grupo se encuentran la escarda manual y el plástico biodegradable, seguidos por las cubiertas de cebada y de arroz. Los tratamientos con menor efectividad para limitar el desarrollo de malas hierbas son los correspondientes a los restos de maíz y la cubierta con *Artemisia absinthium*.

En correspondencia con estas conclusiones, Kristiansen *et al.* (2003) indican en ensayos realizados en lechuga y echinacea (*Echinacea purpurea* [L.] Moench) que el papel obtuvo valores similares de biomasa de malas hierbas que el control manual y que la reducción de este parámetro con respecto al testigo sin desherbar estuvo entre 96 y 98 %; a su vez reportan que el tratamiento correspondiente a mulch de paja (mezcla de *Lolium sp.* y *Avena sativa*) tuvo un desempeño menos eficiente en el control de malas hierbas. Por su parte, Zamar *et al.* (2000) indican que los restos de *Melilotus* no modificaron significativamente la instalación de plántulas, visualizándose sólo una tendencia a controlar a las especies perennes, tal como se observa en los resultados para *Artemisia*. La conclusión de estos investigadores puede aplicarse también para el caso de la *Artemisia*, ya que indican que la menor cantidad de restos vegetales aportados, como la calidad de ellos (bajo volumen de hojas y alta cantidad de tallos), podrían ser insuficientes para crear un ambiente desfavorable para el establecimiento de plántulas de las especies de malezas. Por último, Radics *et al.* (2006) y Radics y Székelyné (2002) concluyen que los tratamientos con cubiertas de polietileno y papel tuvieron el mejor desempeño en el control de malas hierbas tanto en situación de aridez como de alta humedad.

5.3.2.2.- Valoración del efecto de las cubiertas de suelo evaluadas sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de tomate

a.- Desarrollo del cultivo de tomate

Cabe recordar que para evaluar el impacto de las cubiertas evaluadas sobre el desarrollo del tomate se estudiaron las variables altura, número de flores abiertas, número de frutos, peso de frutos y peso seco, todas ellas expresadas en promedio por planta y evaluadas a los 35 días después de la aplicación de los tratamientos. Se calculó además el peso promedio por fruto. En el cuadro 27 se presentan los

parámetros obtenidos en el análisis de varianza para todas las variables de desarrollo del cultivo evaluadas en los tres años de ensayo en Zaragoza.

Cuadro 27. Valores de P para la fuente de variación “tratamiento” y CV obtenidos en el análisis de varianza para las variables de desarrollo del cultivo en los tres años de ensayo en Zaragoza.

Parámetro	Número de flores	Número de frutos	Peso de frutos	Peso promedio por fruto	Altura de planta	Biomasa seca de planta
AÑO 2005						
Valor de P	0,1000	0,6183	0,9298	0,2003	<u>0,0426</u>	<u>0,0129</u>
CV (%)	43,05	30,08	30,45	13,22	24,01	10,38
AÑO 2006						
Valor de P	<u>0,0002</u>	<u>0,0000</u>	<u>0,0000</u>	0,1672	<u>0,0000</u>	0,5329
CV (%)	38,92	28,90	20,02	33,72	5,78	35,27
AÑO 2007						
Valor de P	0,4687	0,8878	0,4349	0,6239	0,7835	0,8468
CV (%)	26,60	31,60	24,90	18,66	11,05	24,64

CV=coeficiente de variación

Si bien existen excepciones, en la mayoría de los casos el coeficiente de variación se encuentra entre los límites aceptables para un ensayo de campo, lo que indica confiabilidad en el análisis realizado. Se presentan variaciones importantes entre los años, en especial en el año 2006, donde un mayor número de variables fueron afectadas de forma significativa por los tratamientos. Al revisar los datos climáticos para este año no se observan cambios importantes con respecto a los otros años, e inclusive puede considerarse con un clima más benevolente, lo que descarta la posible acción del clima sobre los resultados. Llama particularmente la atención que en todos los casos la variable peso promedio por fruto no es afectada por los tratamientos, lo que indica la estabilidad de esta variable ante los tratamientos aplicados. En los cuadros 28 y 29 se presenta la separación de medias para aquellas variables que resultaron afectadas significativamente por los tratamientos en los ensayos de Zaragoza.

Cuadro 28. Separación de medias de la altura y biomasa seca de planta de tomate para el ensayo del año 2005 en Zaragoza a los 35 días después de la aplicación de los tratamientos. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Biomasa seca de planta (g)
Paja de arroz	38,00 a	44,03 abcd
Paja de cebada	34,86 abc	51,97 ab
Restos de maíz	33,63 abc	41,10 abcd
<i>A. absinthium</i>	33,88 abc	32,35 d
Mater-Bi®	35,25 abc	34,82 cd
Saikraft®	36,13 ab	48,25 abc
Polietileno	35,75 ab	53,40 a
Herbicida	27,81 d	37,65 bcd
Escarda manual	31,75 bcd	43,47 abcd
Testigo	30,25 cd	32,31 d

Cuadro 29. Separación de medias del número de flores, número de frutos, peso de frutos, altura y biomasa seca por planta de tomate para el ensayo del año 2006 en Zaragoza a 35 días después de la aplicación de los tratamientos. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Número de flores	Número de frutos	Peso de frutos (g)	Altura de planta (cm)
Paja de arroz	13,69 ab	15,94 cd	235,00 c	39,00 b
Paja de cebada	12,75 ab	14,44 cde	200,00 cd	37,22 bc
Restos de maíz	12,44 ab	18,69 bcd	204,38 cd	35,72 c
A. absinthium	8,00 bc	11,94 de	157,50 de	35,13 c
Mater-Bi®	10,56 ab	20,38 abc	263,75 bc	42,94 a
Saikraft®	15,00 a	25,56 a	351,25 a	43,35 a
Polietileno	15,38 a	24,88 ab	316,25 ab	44,25 a
Herbicida	14,00 ab	19,19 abc	258,75 bc	35,91 c
Escarda manual	3,19 cd	8,13 ef	116,25 e	36,16 bc
Testigo	1,25 d	4,38 f	95,00 e	36,35 bc

Las cubiertas con papel, plástico biodegradable y polietileno presentan los mayores valores para las variables de desarrollo del cultivo evaluadas en los años en que existieron diferencias entre las mismas; entre estas cubiertas, el plástico biodegradable es el que obtuvo los menores valores. También destaca que el tratamiento con herbicida obtuvo valores similares a los de las cubiertas de paja de arroz, de cebada y restos de maíz y éstas siempre estuvieron en los rangos medios entre los tratamientos con mejores valores y los peores (testigo y *Artemisia*).

Debido a que una de las variables de mayor importancia evaluada en el desarrollo del cultivo fue la biomasa seca de plantas y que esta en los ensayos de Zaragoza no resultó diferente estadísticamente entre los tratamientos en ninguno de los años evaluados, se puede concluir que los tratamientos no afectaron de forma significativa la acumulación de materia seca en el cultivo en la fase de desarrollo vegetativo y son otras las variables que definen las diferencias que se puedan presentar en el rendimiento final; al no existir un comportamiento estable durante los tres años de ensayo, los resultados obtenidos no dejan claro cual de las variables afectada por los tratamientos es la que podría predecir el comportamiento del rendimiento del cultivo. En este sentido es lógico pensar que la variable número de frutos por planta es la que definir el rendimiento, más aún cuando quedó demostrado que en ninguno de los años de ensayo los tratamientos afectaron el peso promedio por fruto al menos en la fase de desarrollo del cultivo. Esta hipótesis se apoya a su vez en las diferencias existentes en el número de flores por fruto, que en la mayoría de los casos es superior en los tratamientos con altos valores de número de frutos.

En el caso de Quíbor, el cuadro 30 presenta los resultados de los parámetros estadísticos para el análisis de varianza realizado a los datos de desarrollo del cultivo.

Cuadro 30. Valores de P para la fuente de variación “tratamiento” y CV obtenidos en el análisis de varianza para las variables de desarrollo del cultivo en el ensayo de Quíbor.

Parámetro	Número de flores	Número de frutos	Peso de frutos	Peso promedio por fruto	Biomasa seca de planta
Valor de P	0,0663	<u>0,0089</u>	<u>0,0005</u>	0,2377	<u>0,0013</u>
CV (%)	28,75	23,71	24,66	19,74	19,95

CV=coeficiente de variación

En este caso se presentan diferencias significativas entre los tratamientos para las variables número de frutos, peso total de frutos y biomasa seca de las plantas de cultivo. Al igual que en el caso de los ensayos de Zaragoza no se evidencian diferencias en el peso promedio por fruto. Los resultados de la separación de medias de las éstas variables se presentan en el cuadro 31.

Cuadro 31. Separación de medias para el número de frutos, peso de frutos y biomasa seca de planta de tomate para el ensayo de Quíbor a los 35 días después de la aplicación de los tratamientos. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Número de frutos	Peso de frutos (g)	Biomasa seca de planta (g)
Paja de arroz	22,38 bc	432,00 bc	80,50 b
Restos de maíz	26,88 ab	449,25 bc	80,75 b
Serrín de madera	20,00 bc	317,75 cd	65,25 bc
Papel	32,63 a	716,75 a	107,75 a
Polietileno	24,63 b	520,25 b	72,00 bc
Herbicida	22,13 bc	433,25 bc	65,00 bc
Escarda manual	19,26 bc	405,50 bcd	60,50 bc
Testigo	15,38 c	270,25 d	53,75 c

Destaca ampliamente el tratamiento correspondiente al papel en todos los parámetros evaluados; por su parte los valores obtenidos por el polietileno en este caso no destacan tanto como en los ensayos en Zaragoza y puede observarse que son similares en muchos casos a los de los restos vegetales o el herbicida. Entre los restos vegetales, el serrín de madera fue el que obtuvo los menores valores en las variables de crecimiento. A pesar de que en este ensayo se evidenció una fuerte diferencia en la biomasa seca del cultivo, lo que seguramente tiene un efecto sobre el rendimiento, los resultados apoyan la idea de que es el número de frutos por planta el parámetro que es más susceptible a la acción de los tratamientos con cubiertas de suelo aplicadas, siendo esa variable la que pueda definir el efecto sobre el rendimiento.

b.- Rendimiento del cultivo de tomate

Cabe recordar que en este aspecto se evaluó el peso de frutos maduros, frutos no maduros (tamaño comercial) y de descarte (destrío), así como el peso de 100 frutos maduros. Basados en estos parámetros se determinó la producción total (peso de

frutos maduros + no maduros) por planta, el porcentaje de frutos maduros (relación porcentual entre frutos maduros y no maduros), el peso promedio por fruto maduro y el porcentaje de frutos perdidos (relación porcentual entre frutos de destrío y frutos maduros+no maduros). Los resultados se resumen en los cuadros 32 y 33.

Cuadro 32. Valores de P para la fuente de variación "tratamiento" y CV obtenidos en el análisis de varianza para las variables de rendimiento del cultivo en los tres años de ensayo en Zaragoza.

Año	Parámetro	Frutos maduros (%)	Peso por fruto (g)	Frutos perdidos (%)	Producción total (kg/planta)
2005	Valor de P	0,0008	0,1208	0,1289	0,0054
	CV (%)	7,05	19,93	31,57	27,56
2006	Valor de P	0,0001	0,0136	0,8690	0,0000
	CV (%)	8,36	9,57	34,81	29,82
2007	Valor de P	0,2727	0,0030	0,0280	0,0004
	CV (%)	4,56	9,10	36,93	28,76

Cuadro 33. Separación de medias para las variables de rendimiento del cultivo por año de ensayo en Zaragoza a 110 después del trasplante. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Frutos maduros (%)	Peso por fruto (g)	Frutos perdidos (%)	Producción total (kg/planta)
2005				
Paja de arroz	87,50 a	38,55 a	14,57 a	2,17 abc
Paja de cebada	84,06 ab	45,50 a	14,44 a	2,03 abc
Restos de maíz	84,60 ab	55,55 a	8,67 a	2,74 a
<i>A. absinthium</i>	83,89 ab	47,05 a	17,70 a	1,70 cd
Mater-Bi®	72,58 c	44,00 a	12,87 a	2,22 abc
Saikraft®	72,26 c	49,45 a	13,28 a	2,52 abc
Polietileno	80,94 ab	48,30 a	10,21 a	2,85 a
Herbicida	77,09 bc	44,55 a	13,99 a	1,80 bcd
Escarda manual	82,99 ab	55,95 a	12,09 a	2,65 ab
Testigo	70,28 c	37,20 a	14,57 a	1,03 d
2006				
Paja de arroz	87,61 abc	55,15 abcd	14,16 a	1,36 abc
Paja de cebada	92,31 ab	53,59 bcd	11,72 a	0,94 cd
Restos de maíz	92,84 ab	56,82 abc	12,25 a	1,11 bc
<i>A. absinthium</i>	95,23 a	50,48 cd	17,53 a	0,54 de
Mater-Bi®	86,18 abc	61,28 ab	16,72 a	1,23 bc
Saikraft®	85,16 abc	59,95 ab	14,83 a	1,56 ab
Polietileno	79,49 c	61,66 a	12,35 a	1,82 a
Herbicida	84,71 bc	60,34 ab	13,06 a	1,57 ab
Escarda manual	62,86 d	60,59 ab	12,46 a	1,25 bc
Testigo	87,28 abc	48,76 d	11,24 a	0,38 e
2007				
Paja de arroz	96,78 a	57,33 bcd	18,13 b	2,15 ab
Paja de cebada	97,34 a	54,98 bcd	14,20 b	1,70 bcd
Restos de maíz	97,95 a	51,50 d	15,26 b	1,11 d
<i>A. absinthium</i>	97,22 a	52,95 cd	20,60 ab	1,33 cd
Mater-Bi®	95,02 a	59,65 abc	13,08 b	2,76 a
Saikraft®	93,92 a	52,15 cd	13,40 b	1,98 abc
Polietileno	91,55 a	60,75 ab	12,70 b	2,58 a
Herbicida	92,16 a	67,10 a	13,93 b	2,53 a
Escarda manual	93,49 a	66,40 a	12,47 b	2,22 ab
Testigo	98,47 a	50,30 d	28,16 a	0,95 d

Se observa claramente que los mayores valores de madurez de frutos se alcanzan en los tratamientos correspondientes a cubiertas con restos vegetales, en especial en los años 2005 y 2006. Este resultado es contrario a la idea general de que los plásticos producen mayor precocidad en el cultivo, pero hay que considerar algunos aspectos importantes en este caso: (1) la precocidad cultivos con cubiertas plásticas se manifiesta de forma más evidente en zonas de clima frío (Mungía *et al.*, 2000) y si se observan las temperaturas medias del aire y del suelo obtenidas durante el período en se condujeron estos ensayos, es posible afirmar que en Zaragoza no existieron períodos importantes de bajas temperaturas, por lo que el efecto benéfico de mayor calentamiento del suelo por los plásticos (fenómeno que sucedió) no se evidenció en la precocidad del cultivo; (2) el mayor desarrollo vegetativo alcanzado por las plantas en los tratamientos de cubiertas plásticas y la mayor disponibilidad de agua en los mismos para las plantas pudieron retrasar la maduración de los frutos y (3) el alto número de frutos por planta obtenido en las cubiertas plásticas tiene una influencia directa sobre el cálculo de el porcentaje de madurez, situación que es similar en el caso del papel.

En los resultados se observan diferencias en el peso promedio por fruto a diferencia de lo que sucedió con esta variable en la fase de desarrollo del cultivo, donde no se presentaron diferencias. Estos resultados indican que el efecto de los tratamientos sobre el peso de los frutos esta sucediendo en la fase de llenado y madurez del mismo y no en las fases tempranas de formación del mismo. Contrario a estos resultados, Abdul-Baki *et al.* (1996) encontraron que los frutos de tomate fueron más pesados en los tratamientos con mulch de restos vegetales que en los de polietileno negro; sin embargo, hay que considerar que en estos casos se utilizaron cubiertas de restos de cultivos de leguminosas que habían sido sembrados como cultivos de cobertura viva, por lo que seguramente existía una disponibilidad de nutrientes, en especial de nitrógeno, mayor en dichos tratamientos.

No existen diferencias en el porcentaje de frutos perdidos entre los tratamientos, sólo en el año 2007 se encontraron diferencias significativas y los tratamientos que resultaron con mayor pérdida de frutos (*Artemisia* y testigo) coinciden con los que obtuvieron los menores valores de control de malas hierbas y de producción.

En cuanto al rendimiento o producción total por planta, la cubierta de polietileno es el tratamiento con mayores valores. Las cubiertas de papel y plástico biodegradable varían su posición de forma importante entre años, así como el caso del herbicida y la escarda manual. Por su parte, las cubiertas con restos vegetales alcanzan los niveles

de producción medios, con excepción de la *Artemisia* que obtuvo, junto al testigo sin desherbar, los menores niveles de producción. Durante uno de los años de sus ensayos, los cuales se extendieron por 5 años, Radics *et al.* (2006) reportan que los tratamientos con plástico negro, papel, paja de cereales y restos de leguminosas tuvieron un rendimiento mayor que las parcelas tratadas con herbicidas, pero que esto no siempre sucedió de esa misma forma, lo que indica cierta variabilidad en los resultados de este tipo de ensayos, situación similar a la observada en los resultados de esta investigación.

El análisis de los datos entre años para la producción total por planta indica que existen diferencias significativas entre los años de ensayo ($P=0,0014$) y entre los tratamientos ($P=0,0000$), más no así para la interacción año de ensayo-tratamiento ($P=0,0589$). Los resultados de las pruebas de medias aplicadas a ambos factores se presentan en el cuadro 34.

Cuadro 34. Separación de medias del rendimiento para tratamientos y años de ensayo en Zaragoza. Se ordenan de mayor a menor. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Producción total por planta (kg)	Año	Producción total (kg/planta)
Polietileno	2,41 a	2005	2,17 a
Mater-Bi®	2,07 b	2007	1,93 a
Escarda manual	2,03 b	2006	1,18 b
Saikraft®	2,01 b		
Herbicida	1,96 c		
Paja de arroz	1,89 c		
Restos de maíz	1,65 c		
Paja de cebada	1,55 d		
<i>A. absinthium</i>	1,18 e		
Testigo	0,78 f		

Existen diferencias en los niveles de producción entre años, en especial por la notable caída de la misma en el año 2006. Los mayores niveles de producción por planta se alcanzaron con el polietileno, seguido del plástico biodegradable, la escarda manual y el papel, estos últimos dentro de un mismo grupo estadístico. La paja de arroz, los restos de cosecha de maíz y el tratamiento con herbicida se ubican dentro de un mismo grupo, lo que es importante de resaltar, ya que estos tratamientos con cubiertas de origen vegetal se están comportando de forma similar al tradicional método de control con herbicidas. Por su parte las cubiertas correspondientes a paja de cebada y a restos de *Artemisia absinthium* obtuvieron niveles de producción bastante bajos, pero por encima del testigo sin desherbar, dejando así en evidencia que, aunque sea limitado, el control de malas hierbas en el cultivo de tomate es una labor prioritaria e importante, ya que el no implementarla trae consecuencias directas sobre la producción de este cultivo. En este sentido si se considera la relación

porcentual entre el tratamiento con polietileno (que obtuvo el mejor rendimiento) con el testigo sin desherbar, esta alcanza 308% de aumento, ello con el nivel de control de malas hierbas alcanzado con el polietileno y teniendo siempre en cuenta las otras ventajas que trae la implementación de esta técnica.

En el cuadro 35 se presenta un resumen de la producción estimada basándose en la producción total por planta (frutos maduros + frutos no maduros) para los tres años de ensayo al considerar la población de plantas por hectárea con la densidad de cultivo empleada.

Cuadro 35. Producción estimada de tomate por hectárea para cada tratamiento basada en los resultados de los tres años de ensayo en Zaragoza. Plantas de tomate por hectárea: 34500.

Tratamiento	Producción estimada (kg.ha⁻¹)
Polietileno	83145 ± 18437
Mater-Bi®	71415 ± 26870
Escarda manual	70035 ± 24675
Saikraft®	69345 ± 16685
Herbicida	67620 ± 17240
Paja de arroz	65205 ± 15829
Restos de maíz	56925 ± 32334
Paja de cebada	53475 ± 19354
<i>A. absinthium</i>	40710 ± 20371
Testigo	26910 ± 12301

± desviación estándar

En este cuadro no sólo es interesante observar los niveles de producción alcanzados, sino también las variaciones estadísticas que sufrieron los mismos, lo que habla de la variabilidad que puede suceder en la producción, una característica que es considerada como importante por los productores en condiciones reales de producción, ya que es una forma de estimar el riesgo en la producción de un cultivo en particular. Llama la atención la alta variabilidad en la producción para los tratamientos de restos de maíz, plástico biodegradable, escarda manual, restos de *Artemisia absinthium* y paja de cebada, mientras el resto de los tratamientos poseen variaciones en la producción similares y relativamente bajas.

Radics y Szkékelyné (2002) coinciden en los resultados obtenidos en este ensayo al afirmar que el rendimiento del tomate en sus trabajos de investigación fue mayor en los tratamientos de cubiertas de papel y polietileno en condiciones de baja humedad, situación que se presenta en Zaragoza, que desde el punto de vista agroecológico puede considerarse una zona de humedad y disponibilidad de agua limitada.

Debido a que este trabajo de investigación tiene como principal objetivo estudiar la relación entre las cubiertas evaluadas, las malas hierbas y el cultivo, a

continuación se presenta un estudio de dichas relaciones, basados en los parámetros biomasa seca de malas hierbas y el rendimiento del cultivo.

Al calcular el coeficiente de correlación entre los promedios de tres años para la producción total por planta y para la biomasa seca de malas hierbas en cada tratamiento, se obtiene un valor de $-0,944$ ($P < 0,000$), lo que indica una alta dependencia de la producción del cultivo del nivel de control de malas hierbas alcanzado por los tratamientos. Por supuesto, no sólo las malas hierbas tienen influencia en el rendimiento del cultivo, pero es necesario recordar que en los ensayos la fuente de variación primaria era el manejo de malas hierbas y que este manejo queda bastante bien representado en la variable biomasa seca de malas hierbas.

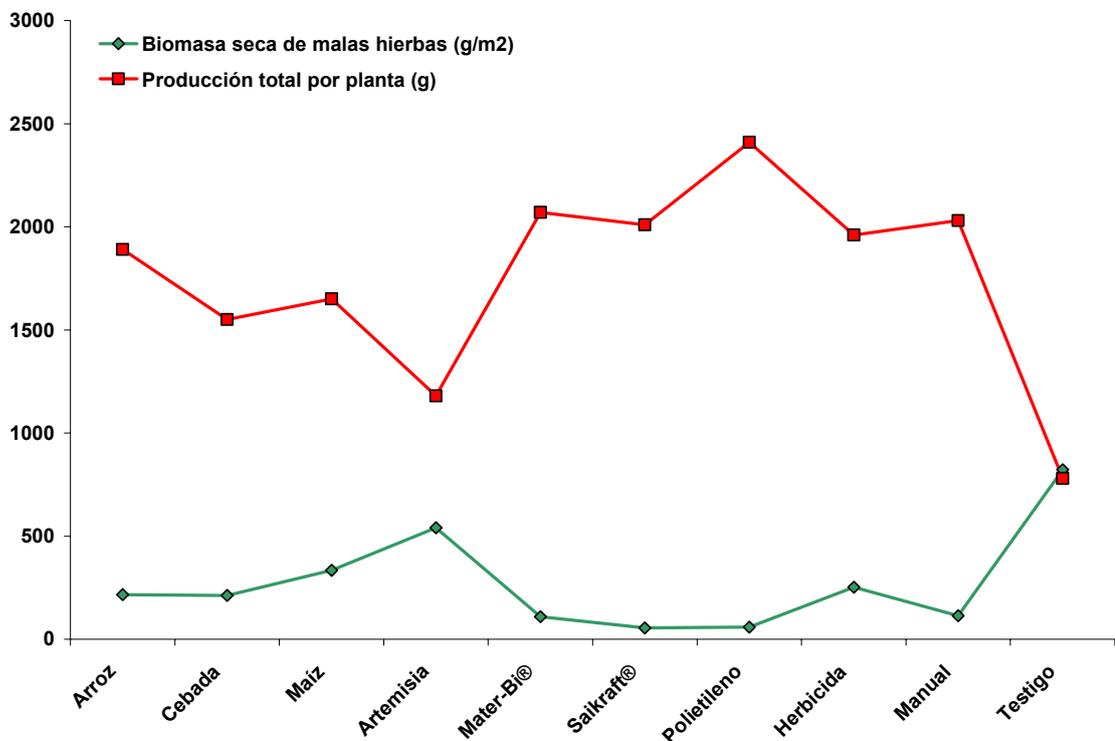


Figura 22. Relación entre la biomasa seca de malas hierbas y la producción total del cultivo de tomate por planta en Zaragoza. Los datos representados corresponden al promedio de tres años de ensayo.

En primera instancia en la figura 22 se observa que a medida que se aumenta la biomasa seca de malas hierbas la producción total del cultivo disminuye, y que esta respuesta es bastante sensible. Sin embargo, existen puntos interesantes que destacar: (1) las cubiertas con arroz y cebada alcanzan niveles similares de biomasa de malas hierbas, sin embargo, la producción en la cebada sufre una caída importante con respecto al arroz; (2) la cubierta con maíz no es tan eficiente en el control de malas hierbas como la cebada, pero la producción obtenida con esta cubierta es mayor a la de cebada, lo que supone que la misma brinda algunos beneficios

adicionales al cultivo que se expresan en un mayor rendimiento o que el mulch con cebada produce algún tipo de condición desfavorable para la producción de tomate; (3) los tratamientos correspondientes a plástico biodegradable, papel, polietileno, herbicida y escarda manual guardan una relación similar entre la biomasa de malas hierbas que permiten se desarrolle y la producción total de las plantas de tomate; sólo en el caso del polietileno se observa un salto importante en la producción, lo que supone que este tratamiento brinda algunas ventajas adicionales al cultivo más allá del control de malas hierbas, lo que se expresa en una mejor producción. Este es, sin duda, un análisis superficial de la relación entre el rendimiento del cultivo y las malas hierbas, ya que aquí no se han considerado, entre muchas cosas, las especies o los parámetros poblacionales de las malas hierbas presentes; sin embargo, este tipo de análisis puede ayudar a detectar relaciones más complejas entre los cultivos y las cubiertas, como es el caso de las evidencias encontradas con la cubierta de restos de maíz, de paja de cebada o con el polietileno.

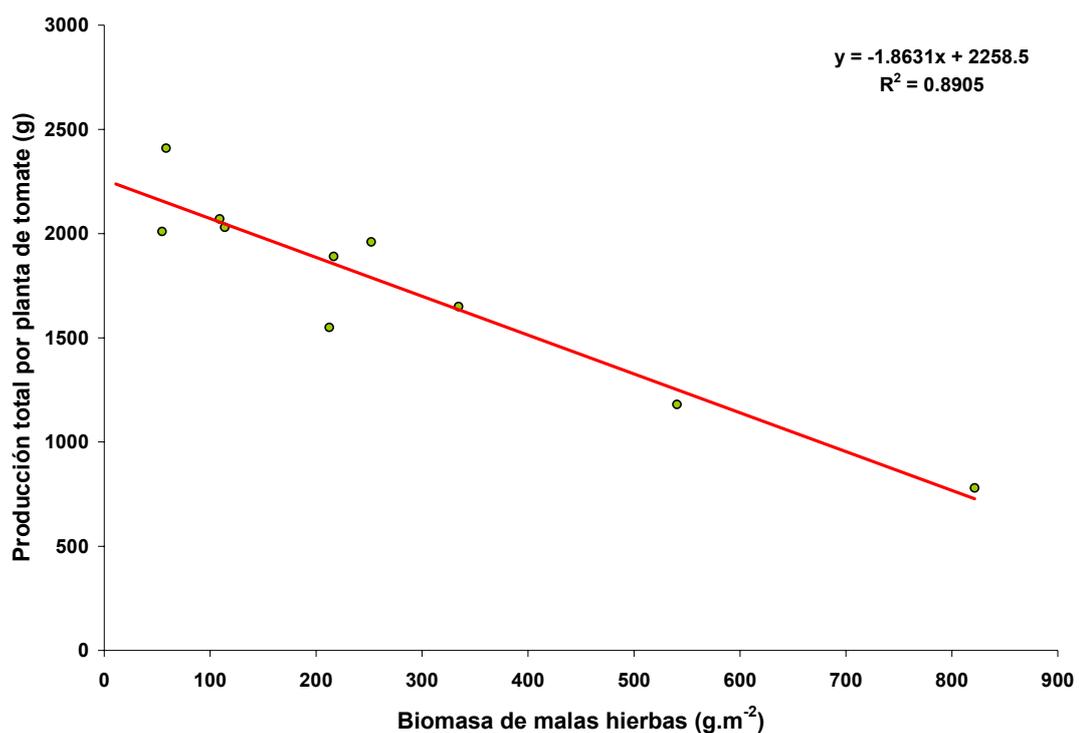


Figura 23. Regresión lineal entre la biomasa seca de malas hierbas y la producción total del cultivo de tomate por planta en Zaragoza. Los datos corresponden al promedio de tres años de ensayo.

La regresión lineal que se presenta en la figura 23 con su alto valor de R^2 indica no sólo la relación que existe entre la biomasa seca de las malas hierbas y la producción del cultivo, sino que esta relación, al menos en este caso, es bastante simple, ajustándose bien a una recta.

Por otra parte, en el cuadro 36 se resumen los resultados y el análisis estadístico de los mismos para las variables de producción en el ensayo de Quíbor.

Cuadro 36. Valores de las variables de rendimiento del cultivo con separación de medias (LSD $\alpha=0,05$) y parámetros estadísticos del análisis de varianza en Quíbor.

Tratamiento	Frutos maduros (%)	Peso por fruto (g)	Frutos perdidos (%)	Producción total (kg/planta)
Paja de arroz	55,71 a	100,18 bc	22,30 a	0,83 bc
Restos de maíz	57,98 a	103,25 bc	19,44 a	1,10 abc
Serrín de madera	54,59 a	93,75 bc	20,16 a	0,80 bc
Papel	62,93 a	112,92 ab	18,02 a	1,22 ab
Polietileno	75,62 a	137,25 a	17,30 a	1,67 a
Herbicida	60,22 a	96,50 bc	15,04 a	0,98 bc
Escarda manual	62,31 a	104,50 bc	17,57 a	0,89 bc
Testigo	55,06 a	82,63 c	17,88 a	0,49 c
Parámetros estadísticos obtenidos en el análisis de varianza				
Valor de P	0,6868	<u>0,0367</u>	0,9346	<u>0,0353</u>
CV (%)	27,56	19,17	31,43	20,29

Los datos obtenidos en este ensayo son, considerando algunas diferencias puntuales, bastante similares a los obtenidos en Zaragoza, en especial en el orden en que se presenta el rendimiento del cultivo con relación a los tratamientos. Destacan el polietileno, el papel y, como dato interesante, los restos de maíz como los de mejor desempeño en cuanto al rendimiento del cultivo. Esta inclusión de los restos de maíz en el grupo de los tratamientos con mejores resultados puede deberse a que este material fue repicado antes de su colocación en campo, mejorando así el recubrimiento del suelo, el control de malas hierbas y la retención de agua, ya que sucedía menor pérdida por evaporación.

Se observa que el herbicida se ubica dentro del mismo grupo que la paja de arroz, dato coincidente con los resultados obtenidos en el ensayo de Zaragoza; en este mismo grupo se ubican los tratamientos correspondientes a serrín de madera y la escarda manual. El testigo sin control de malas hierbas presenta un valor muy bajo de producción, lo que sugiere una fuerte influencia de las malas hierbas sobre este parámetro, a pesar de que la diversidad y la abundancia de malas hierbas en este ensayo fue mucho menor que en el de Zaragoza.

En el cuadro 37 se observa un resumen de la producción estimada sobre la base de la producción total por planta (frutos maduros + frutos no maduros) al considerar la población de plantas por hectárea con la densidad de cultivo empleada en Quíbor. Nótese que la población de plantas de tomate en este ensayo fue menor que en el ensayo de Zaragoza, debido básicamente al ancho de la mesa de siembra, que en este caso fue mayor por tratarse de tomate entutorado.

Cuadro 37. Producción estimada de tomate por hectárea para cada tratamiento en base a los resultados en el ensayo de Quíbor. Plantas de tomate por hectárea: 26500.

Tratamiento	Producción estimada (kg.ha⁻¹)
Polietileno	44255 ± 14251
Papel	32330 ± 18759
Restos de maíz	29150 ± 18147
Herbicida	25970 ± 7204
Escarda manual	23585 ± 7385
Paja de arroz	21995 ± 11881
Serrín de madera	21200 ± 7662
Testigo	12985 ± 2343

Los valores de producción alcanzados en el ensayo de Quíbor son evidentemente más bajos que los de Zaragoza, no sólo por la población de plantas existente, punto que ya fue comentado, sino también por las condiciones propias de la producción en las zonas tropicales, donde la cantidad de luz disponible para realizar los procesos fotosintéticos y de acumulación de materia seca es mucho menor que en las condiciones de producción de las zonas templadas en los ciclos de verano. También es necesario recordar que la cosecha en Quíbor se realizó en una sola ocasión a pesar de ser plantas entutoradas y que el sistema de producción se realizó bajo un manejo totalmente ecológico, lo cual, en la mayoría de los casos en hortalizas, implica unos límites de producción un tanto menores que los de la agricultura tradicional.

Considerando que el ensayo en Quíbor se realizó durante un solo año, lo que implica que la evaluación de la variabilidad de la producción esta limitada, en los resultados se observa que esta variabilidad fue, en general, mayor que en Zaragoza; sin embargo, se mantiene la tendencia en la cual las cubiertas con restos vegetales poseen alta variabilidad en los niveles de producción, mientras que los plásticos y papel poseen menores niveles de variabilidad.

c.- Calidad del fruto

Sobre la cosecha obtenida en el año 2005 en Zaragoza se realizó un estudio de calidad de fruto. En el cuadro 38 se presentan las medias de los parámetros de calidad de fruto evaluados para cada tratamiento. No se realizaron análisis de consistencia debido a que las muestras fueron congeladas para su conservación.

Los análisis de varianza aplicados a los diferentes parámetros de calidad evaluados indican que no existe efecto de tratamiento en ninguno de los casos ($P > 0,05$), siendo los coeficientes de variación muy bajos, nunca superiores al 15%, lo que brinda confiabilidad al análisis realizado.

Cuadro 38. Valores de los parámetros de la calidad de frutos para los diferentes tratamientos aplicados en el ensayo de Zaragoza. Año 2005.

Tratamiento	pH	°Brix	Coloración							Resíduo seco (%)
			Escala CIE			Escala Hunter				
			x	y	z	L	a	b	a/b	
Paja de arroz	4,19	5,41	15,44	8,99	2,51	29,98	39,47	16,02	2,47	7,0
Paja de cebada	4,28	5,49	16,16	9,53	2,58	30,87	38,98	16,66	2,34	7,3
Restos de maíz	4,21	4,99	15,23	8,87	2,51	29,77	39,15	15,87	2,46	6,7
<i>A. absinthium</i>	4,24	5,14	15,05	8,78	2,26	29,62	38,86	16,21	2,40	6,7
Mater-Bi®	4,21	5,29	16,36	9,67	2,70	31,09	39,52	16,63	2,38	7,0
Saikraft®	4,27	5,28	15,98	9,49	2,66	30,76	38,66	16,44	2,35	7,0
Polietileno	4,20	5,02	16,20	9,56	2,65	30,91	39,39	16,57	2,38	6,7
Herbicida	4,19	5,04	14,80	8,60	2,29	29,29	38,74	15,89	2,44	6,7
Escarda manual	4,18	4,65	15,08	8,83	2,36	29,72	38,53	16,11	2,39	6,3
Testigo	4,17	5,73	15,42	9,07	2,56	30,12	38,68	16,06	2,41	7,3

Estos resultados indican que las cubiertas evaluadas no poseen ningún efecto sobre la calidad de los frutos, y que además no se diferencian de los tratamientos con herbicida, escarda manual ni del testigo sin desherbar. Esta conclusión es importante de resaltar, ya que siempre puede existir la duda sobre la utilización de restos vegetales como cubierta y su impacto en la calidad de los productos cosechados, cuestión a la que cada día se le presta más atención.

Los resultados obtenidos en este aspecto son coincidentes con los presentados por López (2003), quién reporta que no se encontraron diferencias significativas en °Brix, pH, viscosidad, color y firmeza entre cinco tratamientos de diferentes tipos de plásticos biodegradables y control sin plástico.

5.3.2.3.- Impacto de la implementación de la técnica de cubiertas sobre el manejo del cultivo de tomate

Los parámetros evaluados con respecto al impacto del uso de cubiertas sobre el manejo del cultivo fueron el gasto de agua, las características químicas del suelo y temperatura del suelo. Las estas evaluaciones se realizaron en Zaragoza, ya que sólo en esta localidad se generaron datos suficientes para analizar y discutir los resultados.

a.- Gasto de agua

El cálculo del gasto de agua para riego en los ensayos tuvo algunas dificultades técnicas, en especial por el cambio del sistema de detección de la humedad del suelo en el año 2006 y por fallos en el sistema de suministro de agua durante ese mismo año, lo cual obligó a tomar algunas medidas de emergencia de riego que imposibilitaron, durante ciertos períodos, determinar exactamente el volumen de agua aplicado. Aunado a esto, durante el año 2007 no fue posible determinar el

volumen de agua aplicada de forma diferencial a los tratamientos durante todo el período de ensayo, por lo que los datos para este año están incompletos.

A pesar de todas estas dificultades fue posible realizar un cálculo del volumen total de agua utilizada en cada año de ensayo y determinar la cantidad de agua aplicada, al menos en tres grupos de tratamientos. Los tratamientos fueron agrupados por la similitud en los niveles de humedad que indicaban las sondas de humedad en el suelo, quedando tres grupos de riego: (1) denominado suelo “desnudo”, en este grupo se incluyeron los tratamientos correspondientes a escarda manual, herbicida y testigo sin desherbar; (2) que se denominó “mulch orgánico”, donde se incluyen los correspondientes a paja de arroz, de cebada y los restos de cosecha de maíz y *Artemisia absinthium* y (3) el cual se nombró como “mulch no orgánico”, donde se ubicaron el plástico biodegradable, el papel y el polietileno. Los sensores de humedad en el suelo sirvieron como guía para estimar cuando era necesario regar y hasta que momento era suficiente aplicar el agua; en este sentido se procedía a regar cuando los valores de humedad eran menores a 22% y el riego se detenía con valores de 32-34%.

Los datos disponibles de gasto de agua total en el área experimental para los tres años de ensayo indican que se consumieron un total de 235,454; 262,668 y 289,980 m³ de agua para los años 2005, 2006 y 2007 respectivamente. Por su parte, en el cuadro 39 se resumen los valores de consumo de agua por grupos de tratamiento.

Cuadro 39. Gasto de agua promedio para los diferentes grupos de cubiertas aplicadas en Zaragoza.

Tipo de cubierta	Gasto de agua promedio (m ³)		Porcentaje de gasto con respecto al suelo desnudo
	Por parcela	Por hectárea	
Mulch no orgánico	6,27	3135	90,21
Mulch orgánico	6,40	3200	92,08
Sin cubierta (suelo desnudo)	6,95	3475	100

Estos resultados en principio podrían indicar que la economía de agua de riego por los tratamientos con cubiertas es baja, sin embargo hay que considerar algunas características del ensayo y sus consecuencias: la intención del riego diferenciado no era medir en sí el consumo de agua por las plantas en cada tratamiento, sino tratar de mantener el nivel de humedad de forma similar entre los diferentes tratamientos, de manera que este factor no afectara de forma importante los resultados del ensayo, el cual estaba enfocado en evaluar el impacto de las cubiertas sobre el manejo del cultivo. Ya aclarado este punto, es posible indicar que las diferencias de agua

aplicadas entre los grupos de tratamientos si pueden interpretarse como una economía real de agua en los tratamientos con cubiertas, ya que fue necesaria una menor cantidad de agua para alcanzar un nivel similar de humedad en el suelo. Si se realizara una evaluación de la eficiencia en el uso del agua relacionando gasto de agua/producción, lo cual no es objetivo de este trabajo, entonces se visualizaría claramente que los tratamientos con cubiertas fueron mucho más eficientes en el uso del agua que los tratamientos con “suelo desnudo”. De hecho, es muy probable que en estos ensayos se haya aplicado una cantidad limitada de agua para los tratamientos con cubiertas, ya que la mayor disponibilidad de agua para las plantas debido a la limitación de la evaporación, la modificación del régimen de temperatura del suelo, el mayor desarrollo radical, la preservación de la estructura del suelo por el no laboreo en la fila de siembra y la limitada competencia con las malas hierbas, produce que los cultivos bajo cubiertas posean mayores necesidades de agua que aquellos que se encuentran en suelo desnudo, esto por el mayor desarrollo vegetativo que alcanzan (Lovelli *et al.*, 2005), lo cual fue evidente en estos ensayos.

Los resultados aquí obtenidos indican que el uso del agua en los tratamientos con cubiertas es más eficiente con respecto a la producción obtenida que en aquellos donde el suelo permanece desnudo o donde existe gran cantidad de malas hierbas.

b.- Características químicas del suelo

En el cuadro 40 se presenta un resumen de los resultados del análisis de varianza aplicado a los tres años de resultados de los parámetros conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, fósforo, potasio y magnesio. Cabe recordar que estos parámetros fueron evaluados tanto al inicio del ensayo, antes de aplicar los tratamientos en cada parcela, como al final de cada año de ensayo.

Cuadro 40. Resumen de los resultados obtenidos en el análisis de varianza aplicado sobre los valores de conductividad eléctrica (CE), pH, materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg) del suelo durante los tres años de ensayo en Zaragoza.

Fuente de variación	CE	pH	MO	P	K	Mg
Año	*	n.s.	**	**	n.s.	n.s.
Tratamiento	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.
Año*Tratamiento	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

*=P<0,05; **=P<0,01; n.s.=P>0,05

Se observa efecto de tratamiento sólo en el caso del contenido de materia orgánica, mientras que existen diferencias entre años en las variables conductividad eléctrica, materia orgánica y fósforo. A continuación se presentan la separación de medias entre años de ensayo para la conductividad eléctrica y los niveles de fósforo.

Cuadro 41. Separación de medias entre años de ensayo para la conductividad eléctrica y los niveles de fósforo en el suelo en Zaragoza. Se ordenan de mayor a menor. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Año	Conductividad eléctrica (dS.m⁻¹) Extracto 1:5	Año	Fósforo (ppm) Método Olsen
2006	0,3800 a	Inicial	13,91 a
2007	0,3755 a	2006	9,96 b
Inicial	0,2948 b	2007	7,47 c
2005	0,1466 c	2005	4,17 d

En el caso de la conductividad eléctrica, la prueba de medias indica que los años con mayores valores son 2006 y 2007; le sigue el valor correspondiente al inicio del ensayo y por último el valor correspondiente al año 2005. Estos resultados indican un proceso de acumulación de sales a lo largo del desarrollo de los ensayos, cuestión que es explicable por la utilización de riego por goteo en zonas con déficit hídrico y en verano. Por su parte, el fósforo parece sufrir una merma importante al iniciarse el ensayo, que luego de una pequeña mejora en el año 2006, vuelve a disminuir de forma considerable el último año de ensayos; en todo caso se observa que ninguno de los valores es superior al valor inicial, por lo que puede concluirse que la serie de ensayos instalados produjeron reducción en el fósforo del suelo.

La materia orgánica fue el único parámetro que se diferenció entre tratamientos y entre años de ensayo. Para el análisis de este parámetro se construyó una variable denominada “diferencial”, la cual no es más que la relación porcentual entre los valores de materia orgánica al inicio (la cual se considera como 100) y al final de los 3 años de ensayo para cada parcela experimental. Esta variable permite analizar de forma más clara la ganancia de materia orgánica del suelo, ya que representa la diferencia total y no el promedio entre años para cada tratamiento.

En el cuadro 42 se presenta un resumen de los datos obtenidos en el análisis de varianza y la separación de medias para la variable “diferencial” de la materia orgánica. En todos los tratamientos se observa un aumento en la materia orgánica del suelo. Los mayores niveles de aumento se obtienen con el tratamiento con restos de cosecha de maíz, aunque se observa dentro de un gran grupo estadístico con un rango de valores muy amplio, señal de alta variabilidad. Los únicos tratamientos que se diferencian de ese gran grupo son los de escarda manual, plástico biodegradable y el papel, los cuales poseen bajos niveles en la ganancia de materia orgánica del suelo. La ganancia de materia orgánica debe ser analizada con cuidado, ya que no sólo hay que considerar la materia orgánica que se agrega al suelo en su forma inicial como cubierta, sino también aquella que se genera por los fallos en el control de malas hierbas o el favorable desarrollo del cultivo, procesos que derivan en una mayor

incorporación de materia orgánica al suelo al final del ciclo. En todo caso se observa que las cubiertas originadas de restos vegetales obtienen los mayores aumentos de materia orgánica, con la excepción particular de la paja de cebada, el material con la mayor relación C/N de todos los ensayados, lo que hace difícil y lenta su descomposición. El plástico biodegradable y el papel son los tratamientos con menores ganancias de materia orgánica después de tres años de aplicación, resultado que puede deberse a la combinación de la poca producción de biomasa de malas hierbas, los niveles medios de producción de biomasa del cultivo y la muy baja cantidad de material compostable que aportan estos materiales al suelo, dada la baja cantidad de los mismos que se utilizan por unidad de área. Este último resultado coincide con los de Schonbeck y Evanylo (1998b), donde se indica que, en ensayos con tomate, las cubiertas con papel o plástico contribuyeron de forma baja o nula al aumento de la materia orgánica del suelo.

Cuadro 42. Resultados del análisis de varianza y separación de medias para la relación de la cantidad de materia orgánica del suelo entre el inicio y el final del ensayo por tratamientos en Zaragoza. El valor de 100% se ha asignado a la cantidad de materia orgánica al inicio de los ensayos (2,10%). Se ordenan de mayor a menor. Prueba de medias LSD ($\alpha=0,05$).

Tratamiento	Porcentaje de materia orgánica con respecto al inicio
Restos de maíz	135,45 a
Testigo	133,79 ab
A. absinthium	132,95 ab
Paja de arroz	125,50 abc
Herbicida	122,86 abc
Polietileno	118,77 abc
Paja de cebada	118,42 abc
Escarda manual	116,26 bc
Mater-Bi®	110,50 c
Saikraft®	109,29 c
Parámetros estadísticos obtenidos en el análisis de varianza	
Valor de P	0,0384
CV (%)	9,97

El hecho de que el tratamiento con polietileno se diferencie de los plásticos biodegradables y el papel en cuanto a la materia orgánica del suelo es curioso, pero puede explicarse por la mayor producción de biomasa y producción del cultivo en este tratamiento, tendencia que fue observada en todos los años, aunque sólo en el año 2005 las diferencias fueron significativas; esta mayor producción de biomasa puede haber incidido en un mayor aporte de materia orgánica en el suelo, ubicando a este tratamiento en un grupo estadístico similar al de cubiertas de origen orgánico, pero siempre con valores de medios a bajos.

Otros elementos evaluados en el suelo fueron hierro, manganeso, cobre y zinc, pero estos sólo se determinaron durante sólo dos ciclos de producción, en el inicio del ensayo en 2005 y al final del ensayo en 2006. Se realizó una prueba de *t* entre los valores obtenidos en ambas fechas de evaluación para cada tratamiento y los resultados se presentan en el cuadro 43.

Cuadro 43. Valores medios de hierro, de P para la prueba de *t* entre las concentraciones de hierro, cobre, manganeso y zinc en el suelo de inicio y después de dos ciclos de aplicación de cubiertas en Zaragoza.

Tratamiento	Concentración en el suelo (mg.kg ⁻¹)											
	Hierro			Manganeso			Cobre			Zinc		
	inicio	final	sig.	inicio	final	sig.	inicio	final	sig.	inicio	final	sig.
Paja de arroz	9.05	10.17	n.s.	5.42	5.09	n.s.	3.98	3.97	n.s.	0.98	1.50	n.s.
Paja de cebada	10.37	10.53	n.s.	5.09	4.35	n.s.	3.62	3.01	n.s.	0.78	1.12	*
Restos de maíz	9.83	10.75	n.s.	5.23	3.95	n.s.	3.92	3.68	n.s.	1.01	1.27	n.s.
<i>A. absinthium</i>	10.33	11.08	n.s.	5.74	4.78	n.s.	4.11	3.72	n.s.	1.04	1.25	n.s.
Mater-Bi®	10.48	10.54	n.s.	5.06	3.90	n.s.	4.18	3.49	n.s.	0.81	1.07	n.s.
Saikraft®	9.90	10.39	n.s.	5.36	3.98	n.s.	3.70	3.29	n.s.	0.90	1.03	n.s.
Polietileno	9.59	9.95	n.s.	4.67	3.81	n.s.	3.65	3.40	n.s.	0.83	1.25	n.s.
Herbicida	11.74	10.48	n.s.	6.71	4.39	n.s.	4.71	3.56	n.s.	1.11	1.46	*
Escarda manual	9.14	9.33	n.s.	5.36	4.34	n.s.	3.72	3.76	n.s.	0.81	1.18	n.s.
Testigo	8.88	9.88	n.s.	5.28	4.82	n.s.	3.99	3.28	n.s.	1.08	1.23	n.s.

sig.= significancia en la prueba de *t*; n.s.= no significativa; *=*P*<0,05; **=*P*<0,01

En general puede concluirse que los elementos que resultaron con valores sobresalientes en el análisis inicial de la composición química de las cubiertas no se expresaron en el análisis de suelo. Como ejemplos se pueden nombrar los casos del hierro en el maíz, o el zinc y el cobre en el papel. Se observa que en la mayoría de los casos no existen diferencias significativas entre los valores de inicio y después de dos ciclos de producción para estos elementos; sin embargo, la tendencia general es de un aumento en los niveles de hierro y una disminución en los de manganeso, mientras que los de cobre disminuyen ligeramente o se mantiene iguales.

En el caso del zinc se observa que en general existe un aumento de los valores, pero sólo en el caso de la cebada y el herbicida las diferencias son significativas; sin embargo, hay que considerar que estas variaciones son mínimas si consideramos los límites máximos de este elemento permitidos en suelos (cuadro 9). En el caso del cobre también se observa que los valores obtenidos son muy bajos en comparación con los límites máximos permitidos.

Los resultados aquí descritos coinciden parcialmente con los descritos por Reddy *et al.* (2003), quienes no encontraron diferencias en la conductividad eléctrica y los niveles de fósforo, potasio, calcio, magnesio y boro en los primeros 5 cm del suelo entre los tratamientos con cubiertas de restos de centeno (*Secale cereale*) y trébol (*Trifolium incarnatum*) y el control durante 4 años de aplicación de los mismos. Sin

embargo, estos investigadores indican que la cubierta con trébol alcanzó mayores niveles de materia orgánica, $\text{NO}^3\text{-N}$, $\text{SO}^4\text{-S}$ y manganeso y un menor pH que la cubierta con centeno, mientras esta última presentó mayores niveles de cobre. Para ambas cubiertas se determinó un aumento en la cantidad de hierro al compararlo con el suelo sin cubierta.

Por su parte, Athy *et al.* (2006) reportan aumentos en la cantidad de materia orgánica, fósforo, magnesio y en la capacidad de intercambio catiónico de un suelo bajo cubierta de hojas molidas de diferentes especies arbóreas de 15 cm de espesor durante dos años, tiempo relativamente corto para la alteración de parámetros del suelo por vía de incorporación de materiales orgánicos; estos resultados son coincidentes con los obtenidos en esta investigación, indicando que la modificación de algunos parámetros químicos del suelo pueden verse afectados de forma significativa con el uso de cubiertas de restos vegetales por un período de tiempo corto.

c.- Temperatura del suelo

La valoración del impacto de los tratamientos ensayados sobre la temperatura del suelo se realizó de forma referencial, ya que no se contó con el material necesario para instalar registradores electrónicos de temperatura en todas las parcelas experimentales, por lo que no fue posible realizar repeticiones y, como consecuencia, no se realizaron análisis estadísticos de los datos obtenidos. A pesar de ello, dada la precisión con que miden estos registradores y el número de años en los cuales se repitió el ensayo, la información generada constituye una fiable fuente de información para discutir sobre este aspecto.

En el cuadro 44 se presenta un resumen de los datos obtenidos con relación a la temperatura del suelo para cada año de ensayo; en el mismo se presenta la amplitud térmica, que no es más que la diferencia entre la temperatura máxima media y la mínima media, para así representar las fluctuaciones medias de la temperatura del suelo para cada tratamiento. Se han resaltado tanto los mayores como los menores valores de amplitud térmica. Por su parte, el cuadro 45 se presentan los valores medios de temperatura del suelo durante tres años de ensayos en Zaragoza.

Se observa que diferentes los diferentes tipos de cubiertas producen diferentes variaciones en la temperatura del suelo. Las mayores medias de temperatura se alcanzan con el tratamiento correspondiente a la cubierta con polietileno, con variaciones de hasta 3°C con respecto a otros tratamientos. También es importante comentar que en los tratamientos donde se mantiene el suelo desnudo (herbicida o escarda manual) es donde se observan los mayores valores de temperatura y están

entre los tratamientos con mayor variación entre máximas y mínimas. La menor variación de temperatura se observó en el tratamiento correspondiente a la cubierta con paja de cebada.

Cuadro 44. Resultados de temperatura media, mínima media, máxima media, amplitud térmica y valor máximo de temperatura en el suelo durante los ensayos en Zaragoza.

Tratamiento	Temperatura (°C)				
	Media	Mínima media	Máxima media	Amplitud térmica	Valor máximo
2005					
Paja de arroz	22,8	20,2	25,9	5,7	34,1
Paja de cebada	23,2	21,2	25,3	4,1	42,8
Restos de maíz	23,3	21,4	25,9	4,5	28,4
<i>A. absinthium</i>	25,2	21,1	31,6	10,5	37,3
Mater-Bi®	25,9	21,4	32,1	10,7	37,7
Saikraft®	23,9	20,5	28,5	8,0	31,8
Polietileno	26,1	22,4	30,6	8,2	39,4
Herbicida	25,2	20,1	33,7	13,6	41,1
Escarda manual	24,3	19,8	31,0	11,2	41,9
Testigo	24,2	20,1	29,5	9,4	37,3
2006					
Paja de arroz	22,9	20,5	25,8	5,3	38,5
Paja de cebada	23,2	21,4	25,3	4,0	38,3
Restos de maíz	23,6	20,5	27,6	7,1	36,8
<i>A. absinthium</i>	22,4	19,0	26,6	7,7	35,3
Mater-Bi®	25,4	21,0	31,3	10,2	36,3
Saikraft®	**	**	**	**	**
Polietileno	26,5	21,6	33,0	11,4	38,6
Herbicida	24,1	18,8	31,0	12,2	38,8
Escarda manual	22,2	19,5	25,4	5,9	33,5
Testigo	24,2	19,3	30,8	11,5	38,2
2007					
Paja de arroz	21,5	19,8	23,2	3,4	32,2
Paja de cebada	21,0	19,6	22,3	2,7	30,6
Restos de maíz	21,0	19,2	22,8	3,6	33,2
<i>A. absinthium</i>	22,1	18,8	25,8	7,0	35,5
Mater-Bi®	23,4	20,4	26,5	6,1	33,2
Saikraft®	22,5	20,5	24,2	3,7	30,8
Polietileno	24,6	20,8	29,1	8,3	39,1
Herbicida	21,3	17,9	25,1	7,2	40,4
Escarda manual	21,9	18,0	27,1	9,1	51,2
Testigo	21,7	18,7	25,0	6,3	37,7

** datos perdidos

Cuadro 45. Medias de temperatura del suelo durante tres años de ensayos en Zaragoza.

Tratamiento	Temperatura (°C)				
	Media	Mínima media	Máxima media	Amplitud térmica	Valor máximo
Paja de arroz	22,4	20,2	25,0	4,8	34,9
Paja de cebada	22,4	20,7	24,3	3,6	37,2
Restos de maíz	22,7	20,4	25,4	5,1	32,8
<i>A. absinthium</i>	23,2	19,6	28,0	8,4	36,0
Mater-Bi®	24,9	20,9	30,0	9,0	35,7
Saikraft®	23,2	20,5	26,4	5,9	31,3
Polietileno	25,8	21,6	30,9	9,3	39,0
Herbicida	23,5	18,9	29,9	11,0	40,1
Escarda manual	22,8	19,1	27,8	8,7	42,2
Testigo	23,4	19,3	28,4	9,1	37,7

Estos resultados coinciden con los de Ramakrishna *et al.* (2006), pero con valores menores en las variaciones con respecto a los otros tratamientos, que en ese caso llegó hasta 6 °C. Ghosh *et al.* (2006) indican aumentos en la temperatura del suelo entre 4 y 5 °C al utilizar polietileno negro como cubierta de suelo en el cultivo de cacahuetes, mientras que Ferguson (2001) describió que la temperatura media de los primeros 2 cm de un suelo donde se utilizó cubierta de paja de trigo se encontraba entre 1 y 2 °C por debajo del suelo sin ningún tipo de cubierta, resultados que son similares a los obtenidos para los casos de las cubiertas de paja de arroz, cebada y restos de maíz al compararlas con el tratamiento con herbicida o el testigo sin desherbar. Por su parte, Anderson *et al.* (1995) indican que las temperaturas medias del suelo bajo papel son siempre menores que las del polietileno, resultado que coincide con los obtenidos en esta investigación.

Quezada *et al.* (2004) encontraron diferencias importantes en la temperatura del suelo hasta 15 cm de profundidad entre cubiertas plásticas de diferentes colores en un cultivo de pimiento; estos cambios estuvieron asociados a diferencias en los niveles de acumulación de biomasa en el cultivo y su producción, que fueron mayores en las cubiertas de color blanco, con temperaturas medias del suelo de entre 23 y 24 °C, seguidas por las cubiertas de color negro, que registraron temperaturas entre 24 y 28 °C. La mayor variación de temperatura en el plástico negro sucedió al inicio del ciclo del cultivo, cuando aún el follaje del mismo estaba poco desarrollado y cubría poco el suelo. Este último fenómeno, aunque no se presentan los datos, fue observado en los casos de polietileno y plástico biodegradable. Por otra parte, Schonbeck y Evanylo (1998a) indican aumentos en la temperatura del suelo entre 1 y 2 °C al utilizar polietileno negro como cubierta, mientras el papel mantuvo temperaturas intermedias entre las registradas en el polietileno y las cubiertas orgánicas (pajas de cereales) y además observaron que en los tratamientos correspondientes a cubiertas con pajas y papel se retrasó la maduración del fruto, probablemente por las menores temperaturas registradas en el suelo.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en este trabajo de investigación se observa que, en general, la temperatura media obtenida con las cubiertas de restos vegetales está por debajo de 23 °C, por lo que la poca ganancia de temperatura del suelo en estos tratamientos puede ser una limitante para el desarrollo del tomate, en especial al inicio del ciclo del cultivo; sin embargo, en este caso no se afectaron los niveles de madurez de fruto en el momento de la cosecha e inclusive estos tratamientos tuvieron mayor precocidad que los correspondientes a las cubiertas con plásticos, punto que ha sido aclarado antes.

Disminuir la temperatura del suelo respecto al suelo desnudo o cubierto con polietileno puede ser interesante en ocasiones (Runham *et al.* 1998), aunque en otras puede traer consecuencias indeseables sobre el crecimiento de los cultivos, en especial en su fase inicial después de un período de frío. Este aspecto necesita ser evaluado con mayor profundidad, ya que el impacto de la variación de temperatura por el uso de las cubiertas puede estar enmascarando el efecto de los tratamientos para el control de malezas en el rendimiento.

5.4.- VALORACIÓN ECONÓMICA DEL USO DE LAS CUBIERTAS DE SUELO ENSAYADAS

En este apartado de la investigación se realizará un pequeño estudio de costos en base a la información disponible para las diferentes cubiertas utilizadas en Zaragoza. Lamentablemente en Quíbor no se pudo realizar un estudio de este tipo, ya que la conducción del ensayo bajo un modelo ecológico generó una serie de costos adicionales no calculados que influyeron en el costo total del cultivo, y que no pudieron ser separados de los costos fijos para los sistemas de siembra tradicionales en la zona. También se presentaron serias limitaciones para la obtención de datos de costos en esta zona, ya que no se llevan registros detallados.

En primera instancia se considerará que los costos fijos comunes para la producción de tomate de industria al utilizar riego por goteo ascienden a 5556 €.ha⁻¹ (Gutiérrez *et al.*, 2005). Estos gastos comprenden las materias primas (plantas, productos fitosanitarios, fertilizantes, cintas de riego, etc.), los trabajos en campo (labores de preparación, plantación, cosecha), la mano de obra necesaria para estas distintas actividades y otros gastos como el alquiler de la tierra, el seguro de la cosecha, etc.

Es difícil calcular el costo de las cubiertas de restos vegetales, ya que éstas tendrán un valor variable dependiendo de algunos factores como:

Distancia de la zona de producción a la zona de consumo: ya se que se produzcan en los predios cercanos al campo donde se vayan a utilizar o que se importen de zonas lejanas; este factor determinará los costos de transporte y manejo del material.

Disponibilidad del material: ya que algunos de ellos son utilizados en otras actividades como alimentación animal, cama para diferentes animales de corral, industria de cartones, etc.; en este caso, si bien estos materiales suelen ser abundantes, el mercado puede imponer demandas puntuales de los mismos, que redundará en alzas en los precios.

Un precio de referencia lo impone el costo de la paja de cebada, que se encuentra en 0,09 €.kg⁻¹; este mismo costo será considerado para los restos de cosecha de maíz y la paja de arroz. En el caso de la *Artemisia absinthium* se estima que su costo pueda ser el triple del considerado para los otros restos vegetales, ya que su recolección desde poblaciones naturales o su cultivo en parcelas específicas para generar la biomasa necesaria suponen un costo adicional importante. Para el cálculo de los costos de las cubiertas plásticas y de papel, así como del tratamiento con herbicida, se utilizaron como referencias los precios de los productos en el mercado local y las cantidades de los mismos que fueron utilizados de acuerdo al área efectiva en los que fueron colocados. En el caso de los restos vegetales se considerará que los mismos fueron aplicados tal como se realizó en el ensayo del año 2007, donde sólo se aplicaron el hilo del cultivo (sobre la mesa de siembra). Un resumen de los cálculos de los costos de las cubiertas se presenta en el cuadro 46.

Cuadro 46. Costos de las cubiertas utilizadas en los ensayos de Zaragoza.

Tratamiento	kg.ha ⁻¹	€.kg ⁻¹	€.ha ⁻¹
Paja de arroz	6666	0,09	600
Paja de cebada	6666	0,09	600
Restos de maíz	6666	0,09	600
<i>A. absinthium</i>	6666	0,27	1800
Mater-Bi®	141,3	4,75	671,17
Saikraft®	1333,3	0,38	506,65
Polietileno	91,9	1,85	170,01

Otros costos que son necesarios considerar son los costos específicos para cada tratamiento. Los costos de colocación de las cubiertas de restos vegetales son difíciles de determinar, ya que no existen parámetros establecidos de comparación; lo que si es cierto que ésta labor tendrá un peso significativo en los costos si se realiza de forma manual, forma de colocación a utilizar por los momentos, ya que las soluciones mecánicas para realizar esta actividad son aún muy incipientes y poco difundidas. Según Pérez (2008) el proceso de acolchado con restos vegetales posee un rendimiento de 20 horas hombre.ha⁻¹, por lo que al considerar el costo de mano de obra en 10 €.h⁻¹, el costo total asciende a 200 €.ha⁻¹. En el caso del desherbado manual la operación se realizó en dos ocasiones y considerando que para cada desherbado el rendimiento es de 20 h.ha⁻¹, el costo es de 400 €.ha⁻¹.

Según Gutiérrez *et al.* (2005) la colocación de los plásticos se considera tiene un costo de 17 €.ha⁻¹, pero en el caso del polietileno hay que añadir la labor de retirada, lo que hace ascender el costo a 32 €.ha⁻¹. El acolchado con los papeles es un proceso un poco más lento que para los plásticos, además las bobinas tienen menor longitud y pesan más, por lo que el coste de acolchado con estos materiales puede

ascender a 26 €.ha⁻¹. En el caso del tratamiento con herbicidas, el costo de los productos (metribuzina+rimsulfuron) es de 80 €.ha⁻¹ y la aplicación en campo de los mismos tiene un costo estimado en 10 €.ha⁻¹.

Cuadro 47. Resumen de los costos para las diferentes cubiertas y métodos de control de malas hierbas aplicados en Zaragoza.

Tratamiento	Costos (€.ha ⁻¹)			TOTAL
	Comunes	Materiales	Específicos	
Paja de arroz	5556	600,00	200	6356,00
Paja de cebada	5556	600,00	200	6356,00
Restos de maíz	5556	600,00	200	6356,00
A. absinthium	5556	1800,00	200	7356,00
Mater-Bi®	5556	671,17	17	6244,17
Saikraft®	5556	506,65	26	6088,65
Polietileno	5556	170,01	32	5758,01
Herbicida	5556	80	10	5646,00
Escarda manual	5556	0	400	5956,00
Testigo	5556	0	0	5556,00

Para el cálculo del beneficio promedio se tomará como producción la obtenida como promedio de los tres años de ensayo para cada tratamiento. El precio del tomate se ha considerado de 90 €.t⁻¹ (Gutiérrez *et al.*, 2005), en el que se incluye la subvención de 23,35 €.t⁻¹. No se considera un precio diferenciado para el tomate entre los tratamientos.

Cuadro 48. Cálculo del beneficio económico promedio para cada tratamiento evaluado en Zaragoza.

Tratamiento	Producción (t.ha ⁻¹)	Precio (€.t ⁻¹)	Ingresos (€.ha ⁻¹)	Costos (€.ha ⁻¹)	Beneficio (€.ha ⁻¹)	Umbral de rentabilidad (t.ha ⁻¹)
Paja de arroz	65,205	90	5868,45	6356,00	-487,55	70,62
Paja de cebada	53,475	90	4812,75	6356,00	-1543,25	70,62
Restos de maíz	56,925	90	5123,25	6356,00	-1232,75	70,62
A. absinthium	40,710	90	3663,90	7356,00	-3692,10	81,73
Mater-Bi®	71,415	90	6427,35	6244,17	183,18	69,38
Saikraft®	69,345	90	6241,05	6088,65	152,40	67,65
Polietileno	83,145	90	7483,05	5758,01	1725,04	63,98
Herbicida	67,620	90	6085,80	5646,00	439,80	62,73
Escarda manual	70,035	90	6303,15	5956,00	347,15	66,18
Testigo	26,910	90	2421,90	5556,00	-3134,10	61,73

Sólo los tratamientos correspondientes a cubiertas con plásticos, papel, herbicida y escarda manual resultan en beneficios económicos, destacando entre ellos la cubierta con polietileno, donde se incluyó el precio de la retirada del material al finalizar el ciclo. El uso de cubierta con polietileno en combinación con el riego por goteo es una técnica que ha demostrado ser exitosa en la producción de diferentes cultivos hortícolas, produciendo los mayores beneficios económicos. Investigaciones como las de Tiwari *et al.* (1998), en el cultivo del quimbonbó (*Abelmoschus esculentus*), Tiwari *et al.* (2003) en coles (*Brassica oleracea* var. capitata), Contreras *et*

al. (2004) en melón o López (2008) en tomate para industria indican que el uso de polietileno negro no degradable resulta en los mayores beneficios económicos, más aún cuando no se incluye el costo del retiro del campo de los restos del plástico. Por su parte, Kristiansen *et al.* (2003) indican que el beneficio obtenido en cultivos de lechuga y echinacea (*Echinacea purpurea*) es mayor cuando se utilizan los métodos de escarda manual que cuando se utilizan cubiertas a base de papel peletizado, resultados que coinciden con esta investigación.

Si bien el plástico biodegradable no posee como costo adicional el retiro de sus residuos del campo, su mayor costo y el menor rendimiento obtenido con su uso producen que el beneficio total sea menos atractivo que el polietileno, comparable al obtenido con el uso del papel. Tanto el papel como el plástico biodegradable son alternativas atractivas al uso de polietileno como cubierta de suelo, pero deberán estudiarse formas de reducción del costo de estos materiales y mejoras en el manejo del cultivo cuando se utilicen este tipo de cubiertas.

Los beneficios obtenidos en los tratamientos con herbicida y escarda manual superan los de los tratamientos con plástico biodegradable y papel, pero las limitaciones en el rendimiento los ubican muy por debajo del tratamiento con polietileno. Por su parte, los tratamientos con restos vegetales como cubiertas no obtuvieron beneficios, y en el caso particular del tratamiento con *Artemisia* las pérdidas fueron mayores que las del testigo sin desherbar, ya que la producción en este tratamiento fue muy baja, debido al deficiente control de malas hierbas. De entre estos tratamientos, la cubierta con paja de arroz fue la que obtuvo la menor pérdida económica.

Al estudiar el umbral de rentabilidad, que se define como el nivel de producción que es necesario para cubrir los gastos, se observa que en los tratamientos con beneficio económico positivo la gran ventaja de los tratamientos con herbicida y polietileno radica en que son los que poseen el punto de equilibrio más bajo, por ser los menos costosos de implementar. Algunas medidas que pueden implementarse para mejorar el beneficio económico en el uso de cubiertas de restos vegetales son la reducción de los costos del material y la colocación del mismo en campo; en este sentido, el primer aspecto puede ser abordado con la producción *in situ* de los materiales, mientras que labor de colocación de cubiertas es susceptible de mecanizarse, lo que redundaría en mayor eficiencia y reducción de costos. Otra opción es integrar esta técnica a otras propias de la agricultura ecológica, para poder obtener ingresos extras por la posibilidad de colocar en el mercado frutos con certificación como producto ecológico, que generalmente tienen un precio mayor en el mercado.

Estos resultados indican que la implementación de las cubiertas de suelo con restos vegetales como técnica para el control de malas hierbas debe sufrir mejoras tecnológicas y agronómicas que eleven los rendimientos y reduzcan los costos, para así poder ser competitivos desde el punto de vista económico.

6.- CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en este trabajo de investigación es posible sintetizar las siguientes conclusiones:

1. Caracterización de las cubiertas evaluadas: Para lograr un apropiado recubrimiento del suelo (>90%) con la paja de arroz, paja de cebada y restos de cosecha de maíz con un porcentaje de humedad promedio de 7% es necesario aplicar una dosis equivalente a 1 kg.m⁻². En el caso particular de los restos de *Artemisia absinthium*, la pérdida de humedad que sufre el material al ser aplicado en forma fresca obliga a aumentar las dosis de aplicación o a mezclarlo con otros materiales, ya que la deshidratación de este material hace que a los 21 días después de la aplicación sólo se alcance el 25% de cubrimiento del suelo. Los análisis químicos indican que el aporte de nutrientes al suelo por los restos vegetales es de medio a bajo y que la alta relación carbono/nitrógeno de algunos de ellos (como la paja de cebada) produce que su descomposición sea lenta, permaneciendo sobre el suelo durante un tiempo suficiente para el control de malezas en el cultivo del tomate, con la excepción de los restos de *Artemisia absinthium*.
2. Efecto alelopático de las cubiertas sobre el cultivo: No se evidenció efecto alelopático de ninguna de las cubiertas de restos vegetales evaluadas en Zaragoza (España) sobre el cultivo de tomate.
3. Efecto de las cubiertas sobre la flora arvense: Las cubiertas evaluadas aplicadas durante tres años consecutivos produjeron cambios diferenciados en las especies de malas hierbas dominantes en cada tipo de cubierta en Zaragoza, con una predominancia al final del ciclo de las especies *Digitaria sanguinalis* en las cubiertas de restos vegetales y de *Cyperus rotundus* en las correspondientes a papel, plástico biodegradable y polietileno. Otras especies de importancia en las cubiertas de restos vegetales fueron *Cyperus rotundus*, *Chenopodium album* y *Portulaca oleracea*. Se evidenciaron diferencias en la capacidad de control de diferentes especies de malas hierbas entre los tratamientos, ya que *Chenopodium album* o *Amaranthus retroflexus* fueron más abundantes en las cubiertas de restos vegetales, mientras que *Cyperus rotundus* fue menos abundante en estas cubiertas que en las de los plásticos.
4. Control de malas hierbas: En el ensayo llevado a cabo en Quíbor (Venezuela), el papel y el polietileno controlaron de forma satisfactoria a *Echinochloa colona* y *Trianthema portulacastrum*, mientras que las cubiertas de paja de arroz, restos de

cosecha de maíz y serrín de madera no lo hicieron eficientemente. Los restos vegetales aplicados al suelo en Zaragoza lograron mantener la cobertura del suelo por malas hierbas en niveles bajos (de 3 a 12%) durante los primeros días de desarrollo del cultivo, pero el control de malezas fue disminuyendo a lo largo del desarrollo del cultivo por los escapes de las especies no controladas (*Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* y *Portulaca oleracea*), especialmente en el caso de la cubierta con *Artemisia absinthium*. Los mejores niveles de control de la cobertura del suelo por malezas fueron logrados por el papel, seguido del polietileno, control manual y plástico biodegradable. De los restos vegetales evaluados, la paja de arroz fue la que obtuvo los mayores niveles de control de malas hierbas (65%), similares a los obtenidos en el tratamiento con herbicidas. Estos resultados fueron coincidentes con los del ensayo llevado a cabo en Quíbor.

5. Biomasa de malas hierbas: Con excepción del tratamiento correspondiente a *Artemisia*, las cubiertas de restos vegetales lograron reducir entre un 65 a 75 % la biomasa seca de malas hierbas al ser comparadas con el testigo sin desherbar; sin embargo, este desempeño estuvo muy por debajo del alcanzado por las cubiertas de polietileno, papel y plástico biodegradable, donde la reducción en la biomasa de malas hierbas alcanzó entre un 90 y 95 %. En general existió una alta correspondencia en el efecto de los tratamientos para las variables cobertura del suelo y biomasa seca de malas hierbas; sin embargo, se observó que la cobertura general del suelo por malas hierbas aumentó a medida que transcurrieron los años de ensayo, mientras que la biomasa seca de malas hierbas disminuyó. Este fenómeno se explica por los cambios en la composición florística, ya que algunas especies como *Portulaca oleracea*, *Digitaria sanguinalis* y *Cyperus rotundus* poseen alta capacidad de cubrir el suelo con una biomasa relativamente baja.
6. Desarrollo del cultivo: En Zaragoza no se evidenciaron efectos estables de los distintos materiales aplicados sobre las variables de desarrollo del cultivo del tomate, ya que los resultados variaron de forma importante entre años. Sin embargo se observó que los tratamientos correspondientes a papel, polietileno y plástico biodegradable obtuvieron mayores valores para estas variables en alguno de los años de ensayo. La variable peso promedio de fruto a 35 días después del trasplante no fue afectada por los tratamientos, por lo que es la variable número de frutos por planta la que define las diferencias en el rendimiento del cultivo entre tratamientos. En Quíbor se encontraron mayores valores en el número y peso de frutos por planta en los tratamientos correspondientes al papel y el polietileno.

7. Producción del tomate: Los resultados de los tres años de ensayos en Zaragoza indican que el mayor peso medio de frutos por planta es alcanzado por el polietileno (2,41 kg = 100%), seguido en segundo lugar por el plástico degradable (86%), la escarda manual (84%) y el papel (83%) en un mismo grupo estadístico y a continuación el herbicida (81%), la paja de arroz (78%) y los restos de maíz (68%) en un tercer grupo. La paja de cebada (64%) y la *Artemisia absinthium* (48%) obtuvieron los menores valores de producción, cada uno de estos tratamientos en un grupo estadístico diferente. De forma similar, en Quíbor el tratamiento correspondiente al polietileno logró los mayores pesos de frutos por planta (1,67 kg = 100%), seguido del tratamiento con papel (73%) y restos de cosecha de maíz (65%). El resto de los tratamientos aplicados en Quíbor obtuvieron niveles similares de peso de frutos por planta (<59%). Los tratamientos sin control de malas hierbas obtuvieron pérdidas en la producción con respecto al polietileno de 68% en Zaragoza y 71% en Quíbor, lo que indica un efecto negativo de las malas hierbas en una proporción similar para ambas localidades. Así mismo, en Zaragoza se observó una alta correspondencia ($R^2=0.89$) entre el nivel de control de malezas de los diferentes tratamientos y los niveles de producción alcanzados.
8. Calidad de los frutos: No se registraron diferencias en el pH, sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), coloración (escala CIE y escala Hunter) y residuo seco (%) de los frutos entre los tratamientos, por lo que se concluye que las cubiertas evaluadas no tienen efecto sobre la calidad del fruto de tomate.
9. Cambios en las características químicas del suelo: El único parámetro del suelo que se modificó significativamente de forma diferencial entre los tratamientos aplicados fue el porcentaje de materia orgánica del suelo, el cual aumentó en tres años entre el 25 y el 35 % en los tratamientos correspondientes a cubiertas con restos vegetales. Por su parte, el papel (Saikraft®), el plástico biodegradable (Mater-Bi®) y el polietileno negro presentaron niveles aceptables de zinc, cadmio, plomo y cobre y no se evidenciaron cambios en los niveles de contaminantes analizados en el suelo con los aportes hechos por estos materiales.
10. Temperatura del suelo: La temperatura media del suelo durante el ciclo del cultivo (mayo-agosto) se modificó de acuerdo al tipo de cubierta, obteniendo valores más bajos para las cubiertas de restos vegetales (22 $^{\circ}$ C) y mayores (entre 23 y 25 $^{\circ}$ C) para los plásticos, escarda manual y herbicida. Las diferencias fueron pequeñas (1-2 $^{\circ}$ C) entre tratamientos, pero la amplitud térmica se diferenció en mayor medida, siendo menor en las cubiertas de restos vegetales.

11. Consumo de agua: El uso de las cubiertas de suelo supuso un ahorro en el consumo de agua en el cultivo de tomate, que en estos ensayos se ubicó entre un 8 y 10 %. Las cubiertas de restos vegetales tuvieron un peor desempeño en el ahorro del agua de riego que las correspondientes a polietileno, plástico biodegradable y papel, donde tanto el ahorro de agua como la producción fue mayor.
12. Estudio económico: Los mayores beneficios económicos se obtuvieron con el uso del polietileno como cubierta (1725 €.ha⁻¹) incluyendo el costo del retiro de sus residuos después del ciclo productivo. Los beneficios obtenidos para los tratamientos de escarda manual, herbicida, papel biodegradable y papel fueron de 347, 439, 183 y 152 €.ha⁻¹ respectivamente. Todos los restos vegetales evaluados registraron pérdidas económicas, que variaron entre 487 €.ha⁻¹ en el caso de la paja de arroz y 3692 €.ha⁻¹ en el caso de la *Artemisia*. Los aspectos concernientes a los costos de las cubiertas de plástico biodegradable, papel y restos vegetales, así como la colocación en campo de los restos vegetales como cubiertas son susceptibles de mejoras, todo ello como estrategia para aumentar los beneficios económicos.

En base a estas conclusiones es posible afirmar que la técnica de cubiertas de suelo con restos vegetales puede constituirse en una alternativa al uso del polietileno, en especial en pequeñas a medianas explotaciones agrícolas; sin embargo, es necesario aún mejorar la eficacia de los materiales evaluados en el control de malas hierbas, disminuir los costos de colocación de los mismos y mejorar algunos aspectos del manejo agronómico del cultivo para lograr niveles de beneficio económico más atractivos, como una motivación para la implementación de la técnica. En los casos de las cubiertas con papel y plástico biodegradable se concluye que estos materiales poseen alta potencialidad para sustituir al polietileno como cubierta de suelo; sólo resta mejorar aspectos de la mecanización en la colocación del primero y reducción de los costos en el segundo.

Por último, de manera simultánea a estas mejoras es necesario integrar el uso de cubiertas con restos vegetales, papel o plástico biodegradable a otras técnicas de producción ecológica, para así ofrecer un producto con certificación ecológica, lo que abre la posibilidad de acceder al mercado con mejores precios de venta.

7.- REFERENCIAS

- Abdul-Baki, A. y Teasdale, J., 1997. Sustainable production of fresh-market tomatoes and other summer vegetables with organic mulches. United States Department of Agriculture. Agricultural research service. Farmer's Bulletin No. 2279.
- Abdul-Baki, A.; Teasdale, J.; Korcak, R.; Chitwood, D. y Huettel, R., 1996. Fresh-market tomato production in a low-input alternative system using cover-crop mulch. *HortScience*, 31(1):65-69.
- Abreu, X., 1996. Evaluación de cuatro leguminosas como barbecho mejorado durante dos épocas del año para ser usadas como cultivos de cobertura. *Revista VENESUELOS*, 4(1 y 2):8-13.
- Agele, S.; Iremiren, G. y Ojeniyi, S., 2000. Effects of tillage and mulching on the growth, development and yield of late-season tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) in the humid south of Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, 134, 55-59.
- Ahn, J. y Chung, I., 2000. Allelopathic potential of rice hulls on germination and seedling growth of barnyardgrass. *Agronomy Journal*, 92:1162-1167.
- Aibar, J.; Pardo, G.; Anzalone, A. y Zaragoza, C., 2005. Evaluación de algunos métodos de control de malas hierbas en tomate de industria. *Malherbología ibérica y magrebí: Soluciones comunes a problemas comunes*. Actas del X congreso de la sociedad española de malherbología. Huelva, España. pp. 431-436.
- Alvarez, L., 1997. Producción de arroz de los llanos occidentales de Venezuela. Ediciones de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos "Ezequiel Zamora". Barinas, Venezuela. 246 p.
- Anderson, D.; Garisto, M.; Bourrut, J.; Schonbeck, M.; Jaye, R.; Wurzberger, A. y DeGregorio, R., 1995. Evaluation of a paper mulch made from recycled materials as an alternative to plastic film mulch for vegetables. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7(1):39-61.
- Angers, D. y Recous, S., 1997. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. *Plant and Soil*, 189:197-203.
- Anzalone, A. y Casanova, M., 2004. Flora arvense asociada al cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) en El Tocuyo, Venezuela. *Anales de Botánica Agrícola*, 11:47-60.
- Aponte, A.; Pérez, A. y Tablante, J., 1992. Control de malezas y plagas en tomates con la utilización de residuos de cosechas. FONAIAP Divulga, 41. Julio-Diciembre.
- Arora, B.; Chan, N.; Choy, D.; Eng, J.; Ghods, M.; Gutierrez, P.; Kemp, G.; Reyes, A.; Schneider, H. y Villamayor, C., 2003. Amount and leaching potential of heavy metals in bark mulch and compost used on the university of British Columbia grounds. University of British Columbia. [Documento en línea]. Disponible en: www.sustain.ubc.ca/pdfs/seedreport04/barkmulch.pdf Fecha de consulta: 09/05/05.
- Athy, E.; Keiffer, C. y Stevens, H., 2006. Effects of mulch on seedlings and soil on a closed landfill. *Restoration Ecology*, 14(2):233-241.
- Ayers, R. y Westcot, D., 1994. Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper No. 29. Revision 1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italia. 186 p.

- Azam, F.; Lodhi, A. y Ashraf, M., 1991. Availability of soil and fertilizer nitrogen to wetland rice following wheat straw amendment. *Biology and Fertility of Soils*, 11(2):97-100.
- Bachmann, J. y Earles, R., 2000. Seasons extension techniques for market gardeners. ATTRA. NCAT Agriculture Specialists. 24 pp.
- Bara, S.; Zaragoza, C. y Valderrábano, J., 1999. Efecto alelopático y antihelmíntico de *Artemisia absinthium*. La malherbología en el siglo XXI. Actas del VII congreso de la sociedad española de malherbología, Logroño, España. pp 233-240.
- Barajas-Guzmán, M.; Campo, J. y Barradas, V., 2006. Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Plant Soil*, 287:347-357.
- Barnes, J. y Putnam, A., 1986. Evidence for allelopathy by residues and aqueous extracts of rye (*Secale cereale*). *Weed Science*, 34(3):384-390.
- Barzegar, A.; Yousefi, A. y Daryashenas, A., 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil*, 247:295-301.
- Benoit, F. y Ceustermans, N., 2002. Effect of coloured mulch on production and thrips control with leek. *Plasticulture*, 121:36-48.
- Benvenuti, S. y Macchia, M., 1999. Effect of light quality and oxygen availability on germination and CO₂ evolution of *Amaranthus retroflexus* L. seeds. *Agricoltura Mediterranea*, 129(4):265-271.
- Berglund, R.; Svensson, B. y Gertsson, U., 2006. Impact of plastic mulch and poultry manure on plant establishment in organic strawberry production. *Journal of Plant Nutrition*, 29:103-112.
- Bilalis, D.; Sidiras, N.; Economou, G. y Vakali, C., 2003. Effect of different levels of wheat straw soil surface coverage on weed flora in *Vicia faba* crops. *Agronomy & Crop Science* 189:233-241.
- Blanco-Canqui, H. y Lal, R., 2007. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research*, 95(1-2):240-254.
- Bond, W. y Grundy, A., 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*, 41:383-405.
- Bonhomme, S.; Cuer, A.; Delort, A.; Lemaire, J.; Sancelme, M. and Scott, G., 2003. Environmental biodegradation of polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, 81(3):441-452.
- Booth, B.; Murphy, S. y Swanton, C., 2003. Weed ecology in natural and agricultural systems. CABI Publishing. London, United Kingdom. 303 p.
- Caamal, J.; Jiménez, J.; Torres, A. y Anaya, A., 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agronomy Journal*, 93:27-36.
- Carretero, J., 2004. Flora arvense española. Las malas hierbas de los cultivos españoles. PHYTOMA. Valencia, España. 754 p.
- Castellano, H. y Leal, F., 1970. Ensayo de cobertura en fresas. *Agronomía Tropical* 20(2):125-130.
- Cerdá, A., 2001. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *European Journal of Soil Science*, 52:59-68.

- Cheshire, M.; Bedrock, C.; Williams, B.; Chapman, S.; Solntseva, I. y Thomsen, I., 1999. The immobilization of nitrogen by straw decomposition in soil. *European Journal of Soil Science*, 50:320-341.
- Chiellini, E.; Corti, A. y Swift, G., 2003. Biodegradation of thermally-oxidized, fragmented low-density polyethylenes. *Polymer Degradation and Stability*, 81:341-351.
- Chung, I.; Ahn, J. y Yun, S., 2001. Identification of allelopathic compounds from rice (*Oryza sativa* L.) straw and their biological activity. *Canadian Journal of Plant Science*, 81: 815-819.
- Chung, I.; Kim, K.; Ahn, J., Lee, S.; Kim, S. y Hahn, J., 2003. Comparison of allelopathic potential of rice leaves, straw and hull extracts on barnyardgrass. *Agronomy Journal*, 95:1063-1070.
- Cirujeda, A. y Taberner, A., 2006. El control fotobiológico de malas hierbas: revisión de una técnica controvertida. *ITEA*, 102 (1):27-40.
- Cirujeda, A.; Aibar, J.; Anzalone, A.; León, M. y Zaragoza, C., 2007b. Three years evaluation of mulch materials for weed control in tomato. *Proceedings of international conference of novel and sustainable weed management in arid and semi-arid agroecosystems*, Rehovot, Israel. p. 35
- Cirujeda, A.; Aibar, J.; Zaragoza, C.; Anzalone, A.; Gutiérrez, M.; Fernández-Cavada, S.; Pardo, A.; Suso, M^a L.; Martín, L.; Moreno, M.M.; Moreno, A.; Meco, R.; Lahoz, I. y Macua, J.I., 2007a. Evaluación de acolchados para el control de la flora arvense en un cultivo de tomate. *Actas del congreso 2007 de la sociedad española de malherbología*, Albacete, España. p. 217-221.
- Contreras, F.; García, J.; González-Benevente, A.; López, J. y Varó, P., 2004. Estudio económico sobre alternativas al acolchado tradicional de polietileno (PE) en el cultivo de melón en la región de Murcia. *Agrícola Vergel*, Febrero 2004:80-86.
- Cooke, A., 1996. Mulch ado about paper. *Grower*, 126:17-17.
- Coq, S.; Barthès, B.; Oliver, R. ; Rabary, B. y Blanchart, E., 2007. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues - An experimental study (Madagascar). *Soil Biology & Biochemistry*, 39:2119-2128.
- Creamer, N.; Bennett, M.; Stinner, B. y Cardina, J., 1996. A comparison of four processing tomato production system differing in cover crop and chemical inputs. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3):559-568.
- Cristaudo, A.; Gresta, F.; Luciani, F. Restuccia, A., 2007. Effects of after-harvest period and environmental factors on seed dormancy of *Amaranthus* species. *Weed Research*, 47(4):327-334.
- Delabays, N. y Mermillod, G., 2002. Phénomènes d'allélopathie: premières observations au champ. *Revue suisse d'agriculture*, 34(5):231-237.
- Delabays, N.; Ançay, A. y Mermillod, G., 1998. Recherche d'espèces végétales à propriétés allélopathiques. *Revue Suisse Viticulture Arboriculture Horticulture*, (30):383-387.
- Devêvre, O. y Horwáth, W., 2000. Decomposition of rice straw and microbial carbon use efficiency under different soil temperatures and moistures. *Soil Biology & Biochemistry*, 32:1773-1785.
- Dhima, K.; Vasilakoglou, I.; Eleftherohorinos, I. y Lithourgidis, A., 2006. Allelopathic potential of winter cereals and their cover crop mulch effect on grass weed suppression and corn development. *Crop Science*, 46:345–352.

- Eagle, A.; Bird, J.; Horwath, W.; Linqvist, B.; Brouder, S.; Hill, J. y van Kessel, C., 2000. Rice yield and nitrogen utilization efficiency under alternative straw management practices. *Agronomy Journal*, 92:1096-1103.
- Einhellig, F., 2004. Mode of allelochemical action of phenolic compounds. En: *Allelopathy: chemistry and mode action of allelochemicals*. Edited by: Macías, F.; Galindo, J.; Molinillo, J. and Cutler, H. CRC Press. Boca Ratón, U.S.A. 392 p.
- Erenstein, O., 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications (review). *Soil & Tillage Research*, 67:115–133
- FAO, 2004. Estadísticas agrarias FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [Documento en línea]. Disponible en: www.fao.org. Fecha de consulta: 21/12/04.
- Ferguson, L., 2001. Wheat straw mulch and its impacts on three soilborne pathogens of peanut in microplots. *Plant Disease*, 85(6):661-667.
- Ferrari, G. y Leguizamón, E., 2006. Requerimientos germinativos y modelización de las emergencia de plántulas de *Portulaca oleracea* L. (Verdolaga). *Revista de investigaciones de la facultad de ciencias agrarias*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev9/2.htm>. Fecha de consulta: 29/03/08.
- Feuilloley, P.; César, G.; Benguigui, L. y Grohens, Y., 2003. Biodégradation des films de paillage en polyéthylène: Conjecture ou réalité?. *Colloque international: Produits biodegradable et environnement*. Rouen, Francia.
- Fokkema, N.; Beek, M.; VanSteekelenburg, N.; Samyn, G. Maas, J. y Robinson, T., 2000. Evaluation over four season of a paper mulch used for weed control in vegetables. *Proceedings of the XXV international horticultural congress*. *Acta Horticulturae*, 513:193-201.
- Forcella, F.; Poppe, S.; Hansen, N.; Head, W.; Hoover, E.; Propsom, F. y McKensie, J., 2003. Biological mulches for managing weeds in transplanted strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Weed Technology*, 17:782-787.
- Gao, S.; Tanji, K. y Scardaci, S., 2004. Impact of rice straw incorporation on soil redox status and sulfide toxicity. *Agronomy Journal*, 96:70-76.
- Gawronski, S., 2004. Allelopathic precrop mulch as a tool of weeds managements in winter wheat organic farming. *Second european allelopathy symposium - "Allelopathy: from understand-ding to application"*. Pulawy, Poland. p.26.
- Ghadiri, H. y Niazi, M., 2005. Effects of stratification, scarification, alternating temperature and light on seed dormancy of *Rumex dentatus*, *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium album*. *Iranian Journal of Weed Science*, 1(2):93-109.
- Ghosh, P.; Dayal, D.; Bandyopadhyay, K. y Mohanty, M., 2006. Evaluation of straw and polythene mulch for enhancing productivity of irrigated summer groundnut. *Field Crops Research*, 99(2-3):76-86.
- González, J., 2003. Respuesta del tomate de industria a los plásticos biodegradables. *Vida Rural*, Febrero 2003: 46-49.
- Gonzalez-Sosa, E.; Braud, I.; Thony, V.; Vauclin, M.; Bessemoulin, P. y Calvet, J., 1999. Modelling heat and water exchanges of fallow land covered with plant-residue mulch. *Agricultural and Forest Meteorology*, 97:151–169.
- Gregory, J., 1982. Soil cover prediction with various amounts and types of crop residue. *Transactions of the ASAE*, 25(5):1333-1337.

- Gullett, B. y Touati, A., 2003. PCDD/F emissions from burning wheat and rice field residue. *Atmospheric Environment*, 37:4893-4899.
- Gutiérrez, M.; Bruna, P. y Vallés, M., 2005. El cultivo de tomate de industria en Aragón. Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón. *Informaciones Técnicas*, 163:1-4.
- Gutiérrez, M.; Villa, F.; Cotrina, F.; Albalat, A.; Macua, J.; Romero, J.; Sanz, J.; Uribarri, A.; Sábada, S.; Aguado, G. y del Castillo, J., 2003. Utilización de los plásticos en la horticultura del valle medio del Ebro. Dirección General de Tecnología Agraria. *Informaciones técnicas*, 130.
- Gutiérrez, W.; Medrano, C.; Villalobos, Y.; Acosta, E.; Gomez, J.; Fernández, G.; Báez, J.; Medina, B. y Villalobos, R., 2000. Efectos de la integración de los métodos mecánico, físico, químico sobre el rendimiento del pepino *Cucumis sativus* L. bajo las condiciones de la planicie de Maracaibo. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 17:307-317.
- Harrington, K. y Bedford, T., 2004. Control of weeds by paper mulch in vegetables and trees. *New Zealand Plant Protection*, 57:37-40.
- Hoagland, R. y Williams, R., 2004. Bioassays – Useful tools for the study of allelopathy. En *Allelopathy. Chemistry and Mode of Action of Allelochemicals*. Edited by: Macías, F.; Galindo, J.; Molinillo, J. and Cutler, H. CRC Press CRC Press, Boca Ratón, Florida. pp. 315-351.
- Hochmuth, G.; Hochmuth, B. y Olson, S., 2002. New technologies in mulching for vegetable production in Florida. *Citrus & Vegetable Magazine*, July 2002.
- Humeidan, A., 2003. Evaluación del control de malezas con uso de coberturas en el cultivo de la berenjena (*Solanum melongena* L.). Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, Venezuela.
- Inderjit, D. y Nilsen, E., 2003. Bioassays and fields studies for allelopathy in terrestrial plants: Progress and problems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(3):331-238.
- Inderjit, D.; Rawat, S. y Foy, C., 2004. Multifaceted approach to determine rice straw phytotoxicity. *Canadian Journal of Botany (Reviews)*, 82(2):168-176.
- Jacobs, K., 2005. The potential of mulch to transmit three tree pathogens. *Journal of Arboriculture*, 31(5):236-243.
- Jennings, G. y Jarrett, A., 1985. Laboratory evaluation of mulches in reducing erosion. *Transactions of the ASAE*, 28(5):1466-1470.
- Jones, E.; Jessop, R.; Sindel, B. y Hoult, A., 1999. Utilising crop residues to control weeds. Proceedings of the 12th Australian weeds conference. Tasmanian weeds society. Devonport, Tasmania. pp. 373-376.
- Juteau, F.; Masotti, V.; Viano, J. Y Bessiere, J., 2005. Chemical variation in the oil of *Artemisia verlotiorum* Lamotte of french origin harvested at a vegetative stage and during flowering. *Journal of Essentials Oil Research*, 17:254-26.
- Kelly, T.; Lu, Y.; Abdul-Baki, A. y Teasdale, J., 1995. Economics of hairy vetch mulch system for producing fresh-market tomatoes in the mid-atlantic region. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120:854-860.
- Kobayashi, K., 2004. Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil (review). *Weed Biology and Management*, 4:1-7.

- Koutny, M.; Sancelme, M.; Dabin, C. Pichon N. ; Delort, A. y Lemaire, J., 2006. Acquired biodegradability of polyethylenes containing pro-oxidant additives. *Polymer Degradation and Stability*, 91:1495-1503.
- Kristiansen, P.; Sindel, B. y Jessop, R., 2003. Agronomic and economic evaluation of weed management methods in organic herb and vegetable production systems. Proceedings of the 11th Australian agronomy conference. Geelong (Victoria), Australia. s/p.
- Labrada, R., 1994. Weed Management for Developing Countries. FAO Plant Production and Protection Paper No. 120. Edited by Labrada, R.; Parker, C. Caseley, J. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italia. pp. 282-292.
- Lal, R., 2000. Mulching effects on soil physical quality of an alfisol in western Nigeria. *Land Degradation & Development*, 11:383-392.
- Landers, J., 2004. Desarrollo de la siembra directa en el Brasil Tropical. La historia de las actividades exitosas de una ONG. Boletín de Servicios agrícolas de la FAO 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italia. 81 p.
- Langenkamp, H.; Düwel, O. y Utermann, J., 2001. Trace element and organic matter contents of European soils. Progress report. [Documento en línea]. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/heavy_metals_progress_report.pdf. Fecha de consulta: 09/03/08.
- Larson, J.; Smith, R. y Picken, J., 1997. Tomato variety/Mulch evaluation study. North Dakota State University. Dickinson Research Extension Center. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.ag.ndsu.nodak.edu/dickins/research/1997/tomato.htm>. Fecha de consulta: 23/09/05.
- Lazo, J. y Montoya, C., 1994. Evaluación de la capacidad alelopática de las malezas *Euphorbia heterophylla* L. y *Rottboelia exaltata* L. *Anales de Botánica Agrícola*, 1:1-3.
- Lazo, J., 1992. Implicaciones de la alelopatía en el agroecosistema. *El Malezólogo*, 9(3).
- Le Moine, B., 2003. Films de acolchado: hacia una nueva generación de plásticos de envejecimiento acelerado. *Plasticulture*, 122: 97-103.
- Lemaire, J., 2003. Devenir des films de polyéthylène dans l'environnement. Comunicación del Centre National d'Evaluation de Photoprotection. Université Blaise Pascal.
- Liebl, R.; Simmons, W.; Wax, L. y Stoller, E., 1992. Effect of rye (*Secale cereale*) mulch on weed control and soil moisture in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 6:838-846.
- Liebman, M. y Davis, A., 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research*, 40:27-47.
- Liebman, M. y Mohler, C., 2001. Weeds and the soil environment. En: Ecological management of agricultural weeds. Edited by Liebman, M.; Mohler, C. and Staver, C. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 532 p.
- LIFE-UE, 2004. Biodegradable coverages for sustainable agriculture. Task 1. Action 1.3: Environmental impact of current practices. LIFE-Environment demonstration

- project. [Documento en línea]. Disponible en: www.ictp.cnr.it/life/task1ac13.pdf. Fecha de consulta: 13/03/08.
- Lobo, D. y Vivas, R., 1995. Efectos de la erosión simulada y manejo de residuos sobre la productividad de un alfisol del Estado Guárico, bajo cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor*). Revista VENESUELOS, 3(1):17-24.
- López, J., 2003. Respuesta del tomate de industria a los plásticos biodegradables. Vida Rural, Febrero 2003:46-49.
- Lopez, J.; Collin, G.; Garneau, F.; Jean, F. y Gagnon, H., 2004. Essential oils from Bolivia. III. Asteraceae: *Artemisia copa* Philippi. Journal of Essential Oil Research, 16:554-557.
- Lovelli, S.; Pizza, S.; Caponio, T.; Rivelli, A. y Perniola, M., 2005. Lysimetric determination of muskmelon crop coefficients cultivated under plastic mulches. Agricultural Water Management, 72:147-159.
- MAPA, 2007. Anuario de estadística agroalimentaria 2006. Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) de España. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.mapa.es/estadistica/Anu_06/metodologia/Anuario_2006.pdf. Fecha de consulta: 04/03/08.
- Marcano, M., 2000. El manejo integrado de malezas en los agroecosistemas. Trabajo presentado para el ascenso a profesor agregado. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto. Venezuela.
- Martín, L. y Pelacho, A., 2004. Los acolchados biodegradables como alternativa a los acolchados de papel y polietileno en un sistema de producción de tomate. Actas del VI congreso de la sociedad española de agricultura ecológica (SEAE), Almería, España. pp. 237-238.
- Masiunas, J.; Wahle, E.; Barmore, L. y Morgan, A., 2003. A foam mulching system to control weeds in tomatoes and sweet basil. HortTechnology, 13(2):324-328.
- Mazollier, C. y Taulet, A., 2003. Paillages et ficelles biodégradables: une alternative pour le maraîchage bio. Alternative Agriculture, 59:10-13.
- McLaurin, W. y Wade, G., 2000. Composting and Mulching: A Guide to managing organic landscape refuse. The university of Georgia, College of agricultural and environmental sciences. Cooperative extension service. Circular 816.
- Miles, C.; Garth, L.; Sonde, M. y Nicholson, M., 2003. Searching for alternatives to plastic mulch. Washington state university. [Documento en línea] Disponible en: <http://agsyst.wsu.edu>. Fecha de consulta: 07/05/05.
- Monaco, T.; Weller, S. y Ashton, F., 2002. Weed Science: Principles and practices. Fourth edition. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 671 p.
- Moonen, A. y Bárberi, P., 2006. An ecological approach to study the physical and chemical effects of rye cover crop residues on *Amaranthus retroflexus*, *Echinochloa crus-galli* and maize. Annals of Applied Biology, 148:73-89.
- Moore, M.; Gillespie, T. and Swanton, C., 1994. Effect of cover crop mulches on weed emergence, weed biomass and soyabean (*Glycine max*) development. Weed Technology, 8:512-518.
- Moreno, M.; Moreno, A.; Mancebo, I.; Meco, R. y Lopez, J., 2004. Comparación de diferentes materiales de acolchado en cultivo de tomate. Actas del VI congreso de la sociedad española de agricultura ecológica (SEAE), Almería, España. p. 243.

- Munguía, J.; Quezada, R.; De La Rosa, M. y Cedeño, B., 2000. Effect of plastic mulch on growth of melon, *Cucumis melo* L., "Laguna" hybrid. *Phyton*, 69:37-44.
- Munguía, J.; Zermeño, A.; Quezada, R.; De La Rosa, M.; Ibarra, L. y Torres, A., 2004. Relación entre los componentes del balance de energía y la resistencia estomática en el cultivo de melón bajo acolchado plástico. *Phyton*, 73:181-192.
- Mupangwa, W.; Twomlow, S.; Walker, S. y Hove, L., 2007. Effect of minimum tillage and mulching on maize (*Zea mays* L.) yield and water content of clayey and sandy soils. *Physics & Chemistry of the Earth*, 32(15-18):1127-1134.
- Najul, C. y Anzalone, A., 2006. Control de malezas con cobertura vegetal en el cultivo de la caraota negra (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioagro*, 18(2):75-82.
- Ngouajio, M.; McGiffen, M. y Hutchinson, C., 2003. Effect of cover crop and management system on weed populations in lettuce. *Crop Protection*, 22:57-64.
- Novamont, 2007. What is Mater-Bi?. [Documento en línea]. Disponible en: www.novamont.com. Fecha de consulta: 25/06/07.
- Olofsdotter, M.; Navarez, D.; Rebulanan, M. y Streibig, J., 1999. Weed-suppressing rice cutivers – does allelopathy play a role?. *Weed Research*, 39:441-454.
- Páez, C., 2001. Algunos aspectos fitosociológicos y anatómicos de las principales gramíneas malezas en campos de arroz en el sistema de riego río Guárico. Tesis de grado para optar al título de Magíster Scientiarum en Botánica Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Pardo, G.; Anzalone, A.; Cirujeda, A.; Fernández-Cavada, S.; Aibar, J. y Zaragoza, C., 2005. Different weed control systems in tomato. Proceedings of 13rd European weed research society symposium, Bari, Italia. s/p.
- Parish, R., 1999. An automated machine for removal of plastic mulch. *Transactions of the ASAE*, 42(1):49-51.
- Parish, R.; Bracy, R. y McCoy, J., 2000. Field incineration of plastic mulch. *Journal of Vegetable Crops Production*, 6(1):17-23.
- Penny, G. y Neal, J., 2003. Light, temperature, seed burial and mulch effects on mulberry weed (*Fatua villosa*) seed germination. *Weed Technology*, 17:213-218.
- Pérez, S., 2008. Evaluación de cubiertas biodegradables y restos vegetales para el control de malas hierbas en tomate de industria. Proyecto Final de Carrera para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.
- Petersen, J.; Belz, R.; Walker, F. y Hurle, K., 2001. Weed suppression by release of isothiocyanates from turnip-rape mulch. *Agronomy Journal*, 93:37-43.
- Phuong, N.; Thuy, N.; Hoi, T.; Thai, T.; Muselli, A.; Bighelli, A.; Castola, V. y Casanova, J., 2004. *Artemisia vulgaris* L. From Vietnam: Chemical variability and composition of the oil along the vegetative life of plant. *Journal of Essential Oil Research*, 16:358-361.
- Piedra, A.; López, J.; Díez, M.; Escuer, M.; Robertson, L.; De León, L. y Bello, A., 2004. Manejo ecológico de nemátodos formadores de nódulos del género *Meloidogyne* en zonas hortícolas de Uruguay. Actas del VI congreso de la sociedad española de agricultura ecológica (SEAE), Almería, España. p. 64.
- Piloto, J.; Ramos, A.; Vizoso, A. García, A., 2000. Evaluación del potencial genotóxico de un extracto fluido de *Artemisia absinthium* L. *Revista cubana de plantas medicinales*, 5(2):64-67.

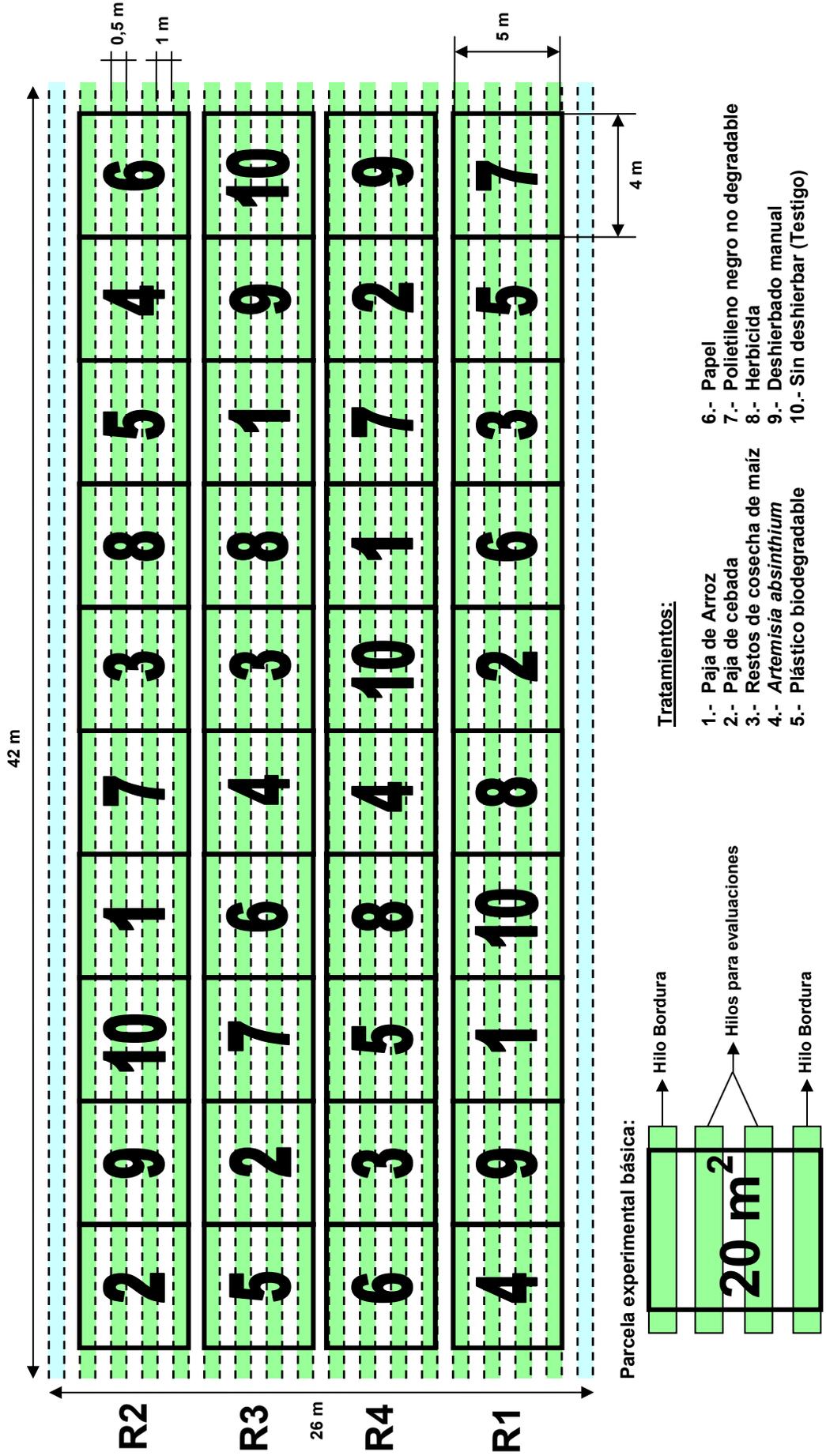
- Pinamonti, F., 1998. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51:239-248.
- Pita, J. y Durán, J., 1984. Germinación en el género *Amaranthus* L.: I. Luz y temperatura. *ITEA*, 15(56):17-28.
- Qasem, J., 2001. Allelopathic potential of white top and syrian sage on vegetable crops. *Agronomy Journal*, 93: 64-71.
- Quezada, M.; De La Rosa, M.; Munguía, J.; Ibarra, L. y Cedeño, B., 2003. Diferencias en la degradación de películas fotodegradables para acolchado, causadas por el manejo del cultivo del melón (*Cucumis melo* L). *Phyton*, 2003:135-142.
- Quezada, M.; Munguía, J. y De La Rosa, I., 2004. Efecto de acolchados fotoselectivos en el desarrollo y rendimiento de hortalizas. *Plasticulture*, 5(123):109-123.
- Quezada, M.; Munguía, J.; De La Rosa, M. y Faz, R., 2000b. Uso de acolchados plásticos biodegradables en el crecimiento y desarrollo de un cultivo de melón (*Cucumis melo* L). *Phyton*, 68:21-29.
- Quezada, M.; Munguía, J.; De La Rosa, M.; Sánchez, S. y Rodríguez, J., 2000a. Comportamiento de películas plásticas fotodegradables para acolchado de suelo en la producción de tomates. *Phyton*, 68:11-20.
- Radics, L. y Székelyné, E., 2002. Comparison of different mulchings methods for weed control in organic green bean and tomato. *Proceedings of 5th European weed research society workshop on physical weed control*. Pisa, Italia. pp. 1925-204.
- Radics, L.; Székelyné, E.; Pustztai, P. y Horváth, K., 2006. Role of mulching in weed control of organic tomato. *Journal of Plant Diseases and Protection*, Special issue XX:1-8.
- Radosevich, S.; Holt J. y Ghera C., 1997. *Weed ecology: implications for management*. Second edition. Wiley & Sons, Inc. New Cork, USA. 589 p.
- Ramakrishna, A.; Tam, H.; Wani, S. y Long T., 2006. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field Crops Research*, 95:115-125.
- Ramalan, A. y Nwokeocha, C., 2000. Effects of furrow irrigation methods, mulching and soil water suction on the growth, yield and water use efficiency of tomato in the nigerian savanna. *Agricultural Water Management*, 45:317-330.
- Rao, V., 2002. *Principles of weed science*. Second edition. Science publishers, Inc. Enfield, U.S.A. 555 p.
- Reddy, K.; Zablotowicz, R.; Locke, M. y Koger, C., 2003. Cover crop, tillage and herbicide effects on weeds, soil properties, microbial populations and soybean yield. *Weed Science*, 51:987-994.
- Reigosa, M.; Souto, X. y González, L., 1999. Effect of phenolic compounds on the germination of six weeds species. *Plant Growth Regulation*, 28:83-88.
- Rice, P.; McConnell, L.; Heighton, L.; Sadeghi, A.; Isensee, A; Teasdale, J.; Abdul-Baki, A.; Harman-Fetcho, J. y Hapeman, C., 2001. Runoff loss of pesticides and soil: A comparison between vegetative mulch and plastic mulch in vegetable production systems. *Journal of Environmental Quality*, 30:1808-1821.
- Romic, D.; Romic, M.; Borosic, J.; Poljak, M., 2003. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. *Agricultural Water Management*, 60(2):87-97.

- Runham, S. y Town, S., 1995. An economic assessment of mulches in field scale vegetable crops. In: Proceedings of 1995 Brighton crop protection conference – Weeds. Brighton, United Kingdom. pp. 925-930.
- Runham, S., 1998. Clear edge for paper mulch. *Grower*, 129:21-22.
- Runham, S.; Town, S. y Fitzpatrick, J., 1998. Evaluation over four seasons of a paper mulch used for weed control in vegetables. *Acta Horticulturae*, 513:193-201.
- Sarao, G. y Lal, R., 2004. Mulching effects on phosphorus and sulfur concentrations in a miamian soil in central Ohio, USA. *Land degradation & Development*, 15: 351-365.
- Schäfer, W.; Väisänen, J. y Pihala, M., 2002. Technique of green mulch spreading. Study report. *Vakolan tutkimusselostus* 79.
- Schonbeck, M. y Evanylo, G., 1998a. Effects of mulches on soil properties and tomato production. I. Soil temperature, soil moisture and marketable yield. *Journal of Sustainable Agriculture*, 13(1):55-81.
- Schonbeck, M. y Evanylo, G., 1998b. Effects of mulches on soil properties and tomato production. II. Plant-available nitrogen, organic matter input and tillage-related properties. *Journal of Sustainable Agriculture*, 13(1):83-100.
- Scopel, E.; Da Silva, F.; Corbeels, M.; Affholder, F. y Maraux, F., 2004. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie*, 24:383-395.
- Scott, G., 2005. Biodegradable plastics in agriculture. En: *Biodegradable polymers for industrial applications*. Edited by Smith, R. Woodhead Publisher. London, United Kingdom. 552 p.
- Sevilla, V.; Mijares, R.; Rodríguez, R. y Abreu, X., 1996. Efecto del uso de coberturas vegetales y abonos orgánicos sobre pérdidas de suelo y agua en dos suelos agrícolas venezolanos. *Revista VENESUELOS*, 4(1 y 2):14-19.
- Shangning, J. y Unger, P., 2001. Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation and straw mulch conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 65:442-448.
- Shogren, R., 1999. Preparation and characterization of a biodegradable mulch: Paper coated with polymerized vegetable oils. *Journal of Applied Polymer Science*, 73:2159-2167.
- Stefanova, M.; Leiva, A.; Larrinaga, L. y Coronado, M., 1999. Actividad metabólica de cepas de *Trichoderma* spp para el control de hongos fitopatógenos del suelo. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 16: 509-516.
- Stemmer, M.; Von Lützow, M.; Kandeler, E.; Pichlmayer, F. y Gerzabek, M., 1999. The effect of maize straw placement on mineralization of C and N in soil particle size fractions. *European Journal of Soil Science*, 50:73-85.
- Summers, C., Mitchell, J. y Stapleton, J., 2004. Non-chemical insect and disease management in cucurbit production system. *Acta Horticulturae*, 638:119-125.
- Summers, C., Mitchell, J. y Stapleton, J., 2005. Mulches reduce aphid-borne viruses and whiteflies in cantaloupe. *California Agriculture*, 59(2):90-94.
- Takeuchi, Y.; Kawaguchi, S. y Yoneyama, K., 2001. Inhibitory and promotive allelopathy in rice (*Oryza sativa* L.). *Weed Biology and Management*, 1:147-156.
- Taylor, J. y Thomson, A., 1998. Bracken litter as mulch: glasshouse evaluation of phytotoxicity. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38:161-9.

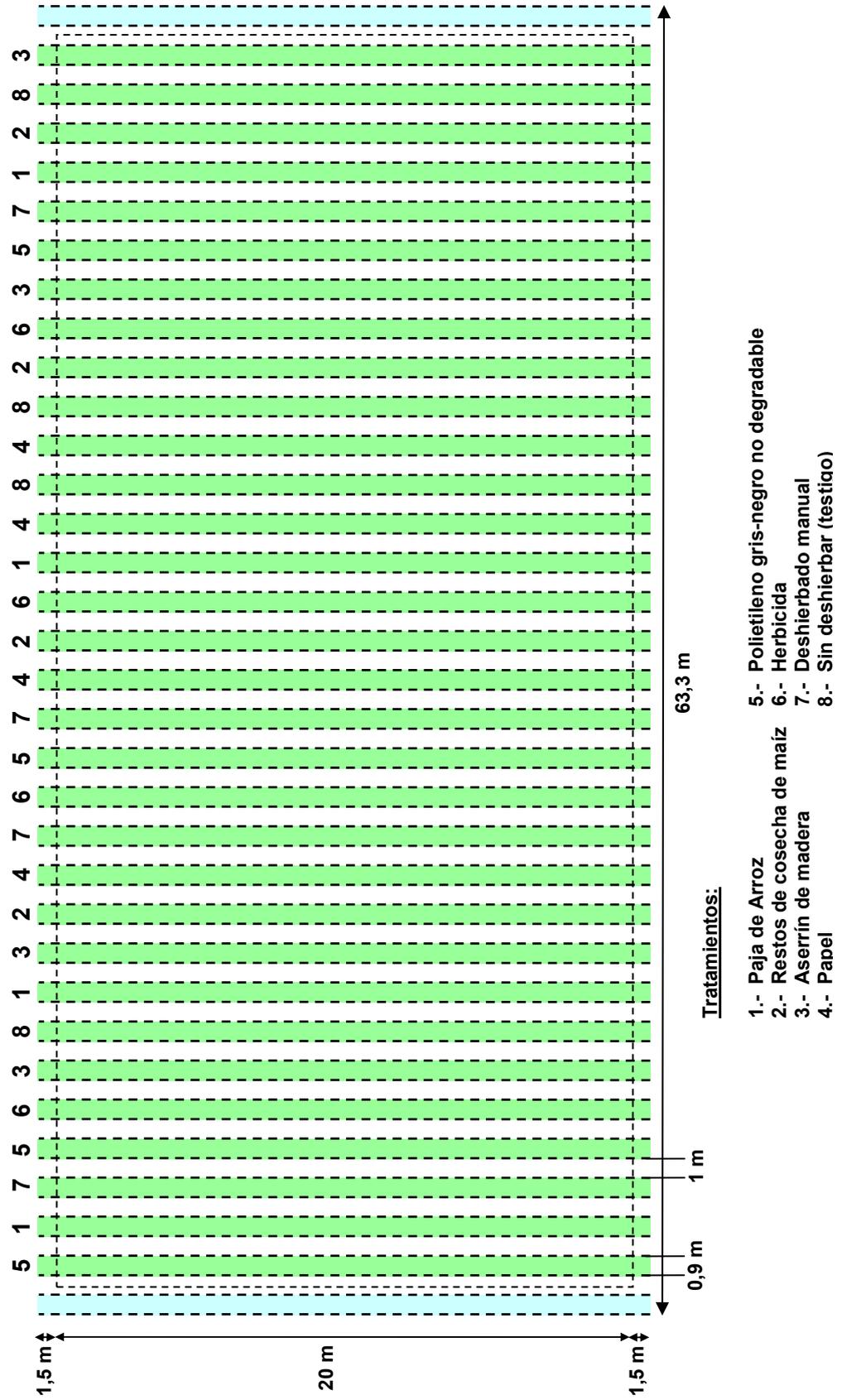
- Teasdale, J. y Mohler, C., 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Science*, 48:385-392.
- Teasdale, J., 1993. Interaction of light, soil moisture and temperature with weed suppression by hairy vetch residue. *Weed Science*, 41: 46-51.
- Teasdale, J., 2003. Principles and practices of using cover crops in weed management systems. En: *Weed management for developing countries. Addendum 1. FAO Plant Production and Protection paper*. Edited by Labrada, R. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italia. pp.169-178.
- Teasdale, J.; Beste, C. y Potts, W., 1991. Response of weeds to tillage and cover crops residue. *Weed Science*, 39:195-199.
- Tei, F.; Montemurro, P.; Baumann, D.; Dobrzanski, A.; Giovinazzo, R.; Kleifeld, Y.; Rocha, F.; Rzozi, S.; Sansevovic, T.; Simoncic, A. y Zaragoza, C., 2002. Weeds and weed management in processing tomato. *Proceedings of 5th World congress on the processing tomato and 8th ISHS symposium on processing tomato, Estambul, Turkey. Acta Horticulturae*, 613: 111-120.
- Tejedor, M.; Jiménez, C. y Díaz, F., 2003. Volcanic materials as mulches for water conservation. *Geoderma*, 117:283-295.
- Thomson, L. y Hoffmann, A., 2007. Effects of ground cover (straw and compost) on the abundance of natural enemies and soil macro invertebrates in vineyards. *Agricultural and Forest Entomology*, 9(3):173-179.
- Tiwari, K.; Mal, P.; Singh, R. y Chattopadhyay, A., 1998. Response of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench.) to drip irrigation under mulch and non-mulch conditions. *Agricultural Water Management*, 38:91-102.
- Tiwari, K.; Singh, R. y Mal, P., 2003. Effect of drill irrigation on yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) under mulch and non-mulch conditions. *Agricultural Water Management*, 58:19-28.
- Tu, C.; Ristaino, J. y Hu, S., 2006. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(2): 247-255.
- Tu, M.; Hurd, C. y Randall, J., 2001. *Weed Control Methods Handbook: Tools & Techniques for Use in Natural Areas*, The Nature Conservancy, Wildland invasive species team. [Documento en línea]. Disponible en: <http://tncweeds.ucdavis.edu/products/handbook/methods-handbook.pdf>. Fecha de consulta: 11/03/08.
- Unger, P., 2001. Paper pellets as a mulch for dryland grain sorghum production. *Agronomy Journal*, 93:349-357.
- Vasconcelos, T.; Sá, G. y Modesto, I., 1984. Effet de la température, de la lumière, de la profondeur et de la durée d'enfouissement sur la germination de quelques adventices. *Comptes rendus du 7ème colloque international sur l'écologie, la biologie et la systématique des mauvaises herbes*. pp. 13-20.
- Vavrina, C. y Roka, F., 2000. Comparison of plastic mulch and bare-ground production and economics for short-day onions in a semitropical environment. *HortTechnology*, 10:252-403.
- Vázquez, N.; Pardo, A.; Suso, M. y Quemada, M., 2006. Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(4):313-323.
- Villarías, J., 2006. *Atlas de malas hierbas*. 4ta edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 633 p.

- Wan, Y. y El-Swaify, S., 1999. Runoff and soil erosion as affected by plastic mulch in a hawaiian pineapple field. *Soil & Tillage Research*, 52:29-35.
- Wardle, D.; Nicholson, R. y Ahmed, M., 1992. Comparison of osmotic and allelopathic effects of grass leaf extracts on grass seed germination and radicle elongation. *Plant and Soil*, 140:315-319.
- Weber, C., 2003. Biodegradable mulch films for weed suppression in the establishment year of matted-row strawberries. *HortTechnology*, 13(4):665-668.
- Weber, S.; Stubner, S. y Conrad, R., 2001. Bacterial populations colonizing and degrading rice straw in anoxic paddy soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(3):1318-1327.
- Wilhelm, W.; Johnson, J.; Hatfield, J.; Voorhees, W. y Linden, D., 2004. Crop and soil productivity response to corn residue removal: a literature review. *Agronomy Journal*, 96:1-17.
- Wilson, J., 1990. Black mulches go green. *Grower*, 115:12-15.
- Wittwer, H. y Castilla, N., 1995. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. *HortTechnology*, 5(1):6-23.
- Yamanaka, T.; Inoue, M. y Kaihotsu, I., 2004. Effects of gravel mulch on water vapor transfer above and below the soil surface. *Agricultural Water Management*, 67:145-155.
- Zamar, J.; Alessandria, E.; Barchuk, A. Luque, S., 2000. Emergencia de plántulas de malezas bajo residuos de especies utilizadas como cultivos de cobertura. *Agriscientia*, 18:59-64.
- Zambrano, C., 2002. Evaluación del potencial efecto alelopático de *Fimbristylis miliacea* y *Cyperus iria* sobre algunas especies malezas de importancia económica en los sistemas de producción de arroz en Venezuela. Tesis de grado para la obtención del título de Magíster Scientiarum. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Zaragoza, C., 2003. Weed management in vegetables. En: *Weed management for Developing Countries. Addendum 1. FAO Plant Production and Protection paper*. Edited by Labrada, R. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italia. pp. 145-157.
- Zaragoza, C., 2005. Weed management in vegetables. *Proceedings of V Congress of plant protection of the plant protection society of Serbia*. Zlatibor, Serbia, p. 257.

Anexo 1. Esquema general del ensayo de campo en Zaragoza



Anexo 2. Esquema general del ensayo de campo en Quíbor



Anexo 3. Datos climáticos para los periodos de ensayo en Zaragoza

DESDE	HASTA	Temperatura (oC)			Humedad relativa (%)			Velocidad del viento (m.s ⁻¹)		Radiación (M.J.m ⁻² .dia ⁻¹)		Precipitación (mm)		Evapotranspiración (mm)	
		MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MEDIA	HISTÓRICA	MENSUAL	HISTÓRICA	MENSUAL	HISTÓRICA
01/04/2005	30/04/2005	13.7	31.6	2.2	61.9	95.8	12.4	2.9	18.9	20.1	16.8	40.0	116.7	89.1	
01/05/2005	31/05/2005	18.3	32.9	7.9	58.1	96.5	11.2	2.3	14.4	23.0	56.2	54.5	156.1	123.1	
01/06/2005	30/06/2005	23.5	38.0	12.0	54.9	94.6	9.8	2.1	18.6	25.4	46.0	40.9	191.8	163.5	
01/07/2005	31/07/2005	24.5	41.1	12.4	50.8	92.4	10.7	2.4	12.4	26.4	0.2	20.3	208.9	193.7	
01/08/2005	31/08/2005	22.7	35.8	10.0	56.9	94.7	15.3	2.5	12.4	22.7	5.0	22.9	178.8	171.4	
01/09/2005	30/09/2005	19.2	35.2	4.8	62.7	95.4	17.2	1.8	15.6	18.0	26.2	31.4	113.8	115.0	
Promedio		20.3	35.8	8.2	57.6	94.9	12.8	2.3	15.4	22.6	25.1	35.0	161.0	142.6	
01/04/2006	30/04/2006	14.0	25.3	1.9	65.2	96.7	24.8	2.4	12.8	20.6	33.6	40.0	116.3	89.1	
01/05/2006	31/05/2006	18.7	33.8	3.9	57.4	95.6	15.3	2.1	12.0	24.1	10.4	54.5	160.2	123.1	
01/06/2006	30/06/2006	22.0	34.4	5.9	57.5	95.4	11.5	2.0	12.1	24.7	36.8	40.9	174.4	163.5	
01/07/2006	31/07/2006	26.1	37.7	14.4	55.3	94.9	15.0	1.7	13.7	25.7	19.4	20.3	198.0	193.7	
01/08/2006	31/08/2006	21.9	34.8	9.9	53.8	96.1	16.0	3.1	13.4	23.7	5.6	22.9	191.6	171.4	
01/09/2006	30/09/2006	20.7	35.4	8.0	68.0	96.7	25.9	1.8	13.5	16.7	105.8	31.4	109.4	115.0	
Promedio		20.6	33.6	7.3	59.5	95.9	18.1	2.2	12.9	22.6	35.3	35.0	158.3	142.6	
01/04/2007	30/04/2007	13.8	28.9	2.8	75.0	96.8	20.4	1.5	14.3	17.1	147.6	40.0	94.2	89.1	
01/05/2007	31/05/2007	17.2	31.0	2.6	62.3	96.4	19.0	2.7	13.2	22.9	31.4	54.5	146.8	123.1	
01/06/2007	30/06/2007	21.1	34.7	8.0	57.4	93.9	18.5	2.1	12.8	25.0	28.0	40.9	166.3	163.5	
01/07/2007	31/07/2007	23.4	37.0	11.3	50.3	93.4	12.9	2.6	12.0	27.0	5.4	20.3	207.9	193.7	
01/08/2007	31/08/2007	22.2	38.2	11.7	55.4	93.3	14.1	2.6	16.9	23.2	22.2	22.9	176.9	171.4	
01/09/2007	30/09/2007	18.6	31.5	6.1	64.3	95.6	21.3	2.0	12.8	18.4	30.2	31.4	117.4	115.0	
Promedio		19.4	33.6	7.1	60.8	94.9	17.7	2.3	13.7	22.3	44.1	35.0	151.6	142.6	

Temperatura = temperatura del aire medida a 1,5 m sobre el suelo

Humedad relativa = humedad relativa del aire medida a 1,5 m sobre el suelo

Velocidad del viento = velocidad del viento medida a 2 m sobre el suelo

Radiación = radiación solar global

Precipitación = suma de la precipitación diaria

Evapotranspiración = suma de la evapotranspiración de referencia calculada con el método de FAO Penman-Monteith

Anexo 4. Datos climáticos para el período de ensayo en Quibor

DESDE	HASTA	Temperatura (oC)			Humedad relativa (%)			Horas de insolación	Radiación (cal.cm ⁻²)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
		MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN				
01/03/2007	31/03/2007	24.8	26.4	21.8	62.0	78.0	55.0	6.1	472.0	62.4	250.0
01/04/2007	30/04/2007	25.6	27.3	22.3	63.0	77.0	58.0	6.4	490.0	37.7	198.4
01/05/2007	31/05/2007	26.6	28.6	23.2	66.0	94.0	55.0	7.0	480.0	24.8	240.2
01/06/2007	30/06/2007	25.6	27.0	22.9	73.0	89.0	63.0	7.6	528.0	48.1	226.7
Promedio		25.7	27.3	22.6	66.0	84.5	57.8	6.8	492.5	43.3	228.8

Temperatura = temperatura del aire medida a 2 m sobre el suelo

Humedad relativa = humedad relativa del aire medida a 2 m sobre el suelo

Radiación = radiación solar global

Precipitación = suma de la precipitación diaria

Evaporación = suma de la evapotranspiración en tina tipo A

Anexo 5. Esquema general del sistema de riego utilizado en Zaragoza

