

Facultad de Biología

Universidad de Murcia

Agroecología

Vol.
1

2006



NOTA EDITORIAL

La revista Agroecología, surge como consecuencia de la colaboración de la Sociedad Española de Agroecología (SEAE) con la Universidad de Murcia, con el fin de crear un espacio de comunicación científico que sirva para recoger los trabajos que, en el campo de la agroecología, vayan apareciendo especialmente en el ámbito latino-americano. Esperamos y deseamos que la revista que hoy nace sirva de referente a medio plazo en los temas agroecológicos.

Este primer número, se conforma como especial, ya que con él se pretende fundamentalmente dar a conocer la existencia de la revista. Para su realización, se ha invitado a personas de reconocido prestigio en el ámbito de la agroecología para que presenten sus últimos trabajos o una síntesis de los mismos. Por este motivo, los propios autores han actuado como referees de sus artículos. En los números que sigan, todos los artículos serán referenciados por dos especialistas en el campo de la agroecología, de acuerdo con las normas de publicación.

La Universidad de Murcia y SEAE, invitan a todos los investigadores que realizan su trabajo con una concepción agroecológica a presentar los mismos a través de esta revista, que comienza su andadura con una tirada inicial de 1000 ejemplares. Las normas de publicación se presentan en la contraportada, así como en la página web de la Universidad de Murcia (www.um.es) y de la SEAE (www.agroecologia.net). En dichas páginas web se incluirán también los textos completos de los artículos que se vayan publicando.

INDICE VOLUMEN 1

AGROECOLOGÍA Y AGRICULTURA ECOLÓGICA: HACIA UNA "RE" CONSTRUCCIÓN DE LA SOBERANÍA ALIMENTARIA.....	7
Eduardo Sevilla Guzmán	
EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS AGRÍCOLAS DE FINCAS EN MISIONES, ARGENTINA, MEDIANTE EL USO DE INDICADORES	19
Santiago J Sarandón, María Soledad Zuluaga, Ramón Cieza, Camila Gómez, Leonardo Janjetic , Eliana Negrete	
OPTIMIZANDO EL MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS A TRAVÉS DE LA SALUD DEL SUELO.....	29
Miguel A Altieri, Clara Nicholls	
BASES AGROECOLÓGICAS PARA DISEÑAR E IMPLEMENTAR UNA ESTRATEGIA DE MANEJO DE HÁBITAT PARA CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS	37
Clara Nicholls	
SUPERVIVENCIA DEL COMPOST DE ORUJO DE VID FRENTE A MICOSIS EDÁFICAS DE PLÁNTULAS DE HORTALIZAS	49
Milagrosa Santos, Fernando Diáñez, Miguel de Cara, Julio C. Tello	
EVALUACIÓN COMPARADA DE LA SOSTENIBILIDAD AGRARIA EN EL OLIVAR ECOLÓGICO Y CONVENCIONAL.....	63
Antonio M Alonso, Gloria I Guzmán	
CONTRIBUCIÓN DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COMPARACIÓN CON LA AGRICULTURA CONVENCIONAL	75
Alberto García, Mamen Laurín, M José Llosá, Víctor González, Mª José Sanz, José L Porcuna	
VARIETADES LOCALES DE JUDÍAS DE LA REGIÓN DE MURCIA COMO BASE PARA LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA. EL CAUPÍ (<i>VIGNA UNGUICULATA</i> (L.) WALP.)	89
JM Egea-Sánchez, Pilar Martínez, JM Egea-Fernández	
LUGARES DE INTERÉS AGROECOLÓGICO COMO ESPACIO POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA.....	99
JM Egea-Fernández, JM Egea-Sánchez	
BIOFUMIGACIÓN Y BIOSOLARIZACIÓN EN EL CONTROL DEL ToMV: UNA BUENA ALTERNATIVA AL BROMURO DE METILO.....	105
Juan Carlos Vilaseca, María Isabel Font, Concepción Jordá	

AGROECOLOGÍA Y AGRICULTURA ECOLÓGICA: HACIA UNA “RE” CONSTRUCCIÓN DE LA SOBERANÍA ALIMENTARIA¹

Eduardo Sevilla Guzmán

Instituto de Sociología y Estudios Campesinos, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales. Edificio Gregor Mendel, C5. Crta Madrid, Km 396. 14071 Córdoba, España. E-mail: ec1segue@uco.es

Resumen

En este texto pretendo (tras una contextualización histórica del surgimiento de la agricultura industrializada mostrando sus formas de degradación) pasar a caracterizar el proceso de globalización económica y su articulación con el neoliberalismo en lo que ya se acepta a conceptualizar como “sociedad del riesgo”, en la actual “era informacional” del capitalismo. Así, una vez establecidas las formas de degradación de los “recursos naturales” (que se suman a los históricos y nuevos mecanismos de explotación social) pasamos a caracterizar la Agroecología y el papel que ésta puede jugar en la “re” construcción de la soberanía alimentaria. Se presenta, así, la Agroecología como una respuesta al deterioro que el modo industrial de uso de los recursos naturales está generando tanto a la naturaleza como a la sociedad. Respuesta desarrollada básicamente desde la práctica de las experiencias de naturaleza agroecológica (tanto desde el Centro como desde la Periferia) y sistematizada desde quienes les acompañamos; que parece comenzar a articularse con los movimientos sociales que organizan la disidencia al neoliberalismo y la globalización (Sevilla Guzmán & Martínez Allier 2006).

Palabras clave: Agroecología, ecología política, nuevos movimientos sociales rurales.

Summary

Agroecology and Organic Farming: Re-building Agroalimentary Sovereignty

This text is an attempt to characterize the articulation between Economic Globalization process and Neoliberal Capitalism of the today's Informational Era into the so-called “Risk Society”, from an agricultural perspective. After an historical contextualization, the rise of the (both: social and ecological) degradation forms generated by the Industrial Mode of Use of natural resources are analyzed. Later on we defines Agroecology as a social collective action in response to such as degradation forms, raised from farming experiences that seems articulate together with the disident of Social Movements against Neoliberalism and Globalization (Sevilla Guzmán & Martinez Allier 2006).

Key words: Agroecology, political ecology, new rural social movements.

A modo de introducción: Agricultura industrializada y Modernidad

Después de múltiples movimientos de soslayo, la Ciencia Social, por fin, admitió que el concepto de Mo-

dernización no suponía sino la expansión de la simbiosis entre capitalismo y democracia que se produce en occidente, reproduciéndose en el resto del mundo la identidad sociocultural europea y aniquilando su biodiversidad sociocultural. Como señalara Habermas: “el con-

1 Este texto se corresponde con mi intervención en la sesión inaugural del VI Congreso de la SEAE, que tuvo lugar en Almería el 27 de Septiembre del 2004. Cuando José Luis Procura me invitó, en nombre de la SEAE a participar en su VI Congreso dando una de las Ponencias de su Sesión Inaugural; acepté encantado ya que ello me brindaba la oportunidad de dar a conocer en España los logros teóricos obtenidos desde el trabajo empírico desarrollado con el CEPAR, en Argentina, durante los últimos seis años. Lamentablemente no pude enviar el texto escrito para que saliera en las Actas del Congreso; por ello pienso que es una excelente oportunidad que aparezca en las páginas de esta prometedora nueva revista de Agroecología. Los avances de las investigaciones del CEPAR han ido apareciendo en los Seminarios Internacionales de Agroecología, de EMATER del 2003 y 2004; en el de Agroecología de Porto Alegre; en el de la Universidad Federal Rural de Pernambuco de 2003; en el Congreso Vasco de Sociología de Bilbao del 2001 y en el I Encuentro Español de Agroecología de Santa Fe, Granada. Una síntesis de estos trabajos puede verse en Ottmann *et al.* (2003: 199-240). El texto donde aparece la versión última de los mismos fue publicado en coedición PNUMA/Mundi-Prensa/ Universidad de Córdoba, España como Ottmann (2005).

cepto de modernización se refiere a una gavilla de procesos acumulativos y que se refuerzan mutuamente: a la formación de capital y a la movilización de recursos; al desarrollo de las fuerzas productivas y al incremento de la productividad del trabajo; a la implantación de poderes políticos centralizados y al desarrollo de identidades nacionales; a la difusión de derechos de participación política, de las formas de vida urbana y de la educación formal; a la secularización de valores y normas, etc. La teoría de la modernización práctica, en el concepto de modernidad de Max Weber, una abstracción preñada de consecuencias. Desgaja la modernidad de sus orígenes moderno-europeos para esterilizarla y convertirla en un patrón de procesos de evolución social neutralizados en cuanto al espacio y al tiempo.

En su crítica a los fundamentos de la sociología, Habermas desvela como la Ciencia Social generalizó una teoría de la evolución "que no necesita quedar gravada con la idea de culminación o remate de la modernidad; es decir, de un estado final tras el que hubieran de ponerse en marcha evoluciones "postmodernas". Así, al desprender la modernización de sus orígenes históricos, un observador científico puede separarse del racionalismo occidental, con lo que "los procesos de modernización, que siguen discurriendo, por así decirlo, de forma automática, pueden relativizarse desde la distanciada mirada de un observador postmoderno". Se construye así una modernización que se "limitaría a ejecutar las leyes funcionales de la economía y del Estado, de la ciencia y de la técnica, que supuestamente se habrían aunado para constituir un sistema ya no influible" (Habermas 1989: 12-13).

Esta incontenible aceleración de los procesos sociales constituye el cemento con el que se forjan las sociedades capitalistas industriales. Una de las características clave de tales sociedades lo constituye el papel que juega en ellas la innovación científica y tecnológica. Es esta, la ciencia, la institución a través de la cual se pretende el control social del cambio, anticipando el futuro con el fin de planificarlo. Se consigue así, legitimar la acción social con una nueva ética tecnocrática que sustituye a la religión y proporciona al hombre moderno una nueva interpretación de la naturaleza y la sociedad: el hombre se crea así la ilusión de que, a través de la ciencia y de las tecnologías de ella derivadas, puede trascender la naturaleza y desde fuera de ella dominarla.

En la sociedad capitalista post-industrial la conciencia tecnocrática desarrollada a través de esta ideología científica diluye la relación capital-trabajo reinterpretando a través de una ilusión racionalizadora la explotación y opresión, tanto de la naturaleza como de la sociedad: "la conciencia tecnocrática refleja no sólo la separación de una situación ética sino que mantiene al hombre aparte de la represión que la ética, como una categoría de la vida, puede ejercer sobre él" (Habermas 1972: 353-375, 373). Es así como, la extensión de los principios científicos a cualquier ámbito de explicación, se constituye en

la nueva fórmula de legitimación que proporciona una interpretación del mundo para el hombre moderno.

Los procesos de privatización, mercantilización y cientifización de los bienes ecológicos comunales (aire, tierra, agua y biodiversidad) desarrollados a lo largo de la dinámica de la modernización, han supuesto una intensificación en la artificialización de los ciclos y procesos físico-químicos y biológicos de la naturaleza para obtener alimentos. La intensificación del manejo de los recursos naturales a través de tecnologías de naturaleza industrial, es definida por el pensamiento científico de la "economía convencional" como la modernización del "factor tierra" cuyo deterioro podrá ser restituido por el capital; la Ciencia, comienza así a perder el conocimiento de su conocimiento. El proceso de degradación de las bases de reproducción biótica de los recursos naturales alcanza así, en no pocas ocasiones, un carácter irreversible.

La cientifización del manejo de los recursos naturales, siguiendo las pautas de la producción industrial, supuso que la fertilidad natural del suelo y su consideración como algo vivo fuera sustituida por química de síntesis para su utilización como un soporte inerte es decir, la utilización del suelo como mediador entre los agroquímicos y los altos rendimientos. El aire y el agua dejaron de ser un contexto interrelacional con otros seres (cuyas funciones podrían utilizarse, a modo de control sistémico, en la producción de bienes para el acceso a los medios de vida) para transformarse definitivamente en meros insumos productivos cuyos ciclos y procesos naturales podrían ser forzados, hasta obtener un máximo rendimiento, según las demandas del mercado, sin considerar el grado de reversibilidad del deterioro causado por dicho forzamiento. Y, finalmente que la biodiversidad fuera obviada, despreciándose el proceso de coevolución que la había generado (Guzmán *et al* 2000: 40-60).

Peter Rosset ha analizado en forma lúcida y esquemática los resultados de esta primera modernización de los recursos naturales (Revolución Verde) de la siguiente manera: "en primer lugar, se inicia un proceso de apropiación privada de la tierra de cultivo comenzando a poder ser comprada y vendida como bienes de consumo, permitiendo su acumulación por unos pocos...; en segundo lugar, la carencia de capacidad de negociación por los agricultores familiares y los trabajadores del campo ante los grandes negocios agroindustriales y los intermediarios, determinaron que aquellos, recibieran cada vez una menor parte de las ganancias obtenidas del campo; y finalmente, la degradación de los suelos, la generación de nuevas plagas, malezas y enfermedades por las tecnologías dominantes destruyendo las bases de la producción futura y tornaron cada vez más difícil y costoso el mantenimiento de las cosechas" (Rosset 1998).

Resumiendo, la primera modernización global del manejo de los recursos naturales desarrollada a través de

Tabla 1. Impacto de la agricultura industrializada sobre los bienes ecológicos comunales.

BIENES ECOLÓGICOS COMUNALES	IMPACTO	POSIBLES ACCIONES CAUSANTES	EJEMPLOS
SUELO	-Erosión hídrica y eólica	-Eliminación de flora en terreno inculto -Laboreo excesivo y profundo -No reposición de materia orgánica -Quema de residuos de cosechas	-Estados Unidos pierde más de 1.000 millones Tm de suelo al año, equivalentes a 300.000 has de cultivos ¹
	-Degradación química y exceso de sales	-Sobrepastoreo -Riego con agua salobre -Intrusión marina por sobreexplotación de acuíferos -Aplicación de plaguicidas y abonos industriales	-Alrededor de 100 millones de has (la mitad de las que se irrigan en el mundo) se ven afectadas por esta externalidad ²
	-Degradación biológica y física	-Laboreo excesivo y profundo -No reposición de materia orgánica -Quema de residuos de cosechas -Aplicación de plaguicidas y abonos industriales	-Se están eliminando la vida microbiana beneficiosa, con la consiguiente reducción de la fertilidad del suelo a largo plazo ³
ATMÓSFERA	-Efecto invernadero y cambio climático	-Combustión de motores de maquinaria agrícola	-La Selva Negra alemana está perdiendo un tercio de sus árboles ⁴
	-Reducción de la capa de ozono	-Aplicación de plaguicidas y abonos industriales	
	-Lluvia ácida -Polución	-Quema de residuos de cosechas -Sobreacumulación de estiércol	
AGUA	-Contaminación de los recursos marinos y fluviales	-Aplicación de plaguicidas y abonos industriales -Sobreacumulación de estiércol	-En España el 40% de los embalses está eutrofizado o mesoeutrofizado ⁵
RECURSOS GENÉTICOS	-Pérdida de diversidad genética y conocimiento agropecuario	-Siembra de híbridos y variedades exógenas, y explotación de razas de ganado con base genética reducida e inadaptada a ecosistemas locales	-Se han extinguido la mitad de las razas de ganado que existían en Europa a principios de siglo ⁶
VIDA SALVAJE	-Disfuncionalidades fisiológicas -Muerte	-Aplicación de plaguicidas y abonos industriales -Quema de residuos de cosechas	En Bélgica los plaguicidas han contribuido a la eliminación de más de 60 especies vegetales y la muerte de numerosas aves ⁷
SERES HUMANOS	-Disfuncionalidades fisiológicas -Muerte	-Aplicación de plaguicidas y abonos industriales	-Los plaguicidas kepone y metoxicloro, entre otros, y los nitratos causan diversos problemas en el sistema reproductor ⁸

(1) Myers 1987, (2) Arnold *et al.* 1990, (3) Doran *et al.* 1987 y Parr 1974, (4) French 1993, (5) Avilés 1992, (6) FAO 1993, (7) Roelants du Vivier 1988, (8) Misch 1994 y Bellapart 1996. Para la reseña bibliográfica de estas fuentes cf. Guzmán *et al.* 2000.

la implementación de la Revolución Verde supuso para el llamado "tercer mundo" la sustitución masiva de los terrenos comunales por la propiedad privada súperconcentrada y el desalojo generalizado de formas sociales de agricultura familiar por latifundios agroindustriales. Se generaliza así la hegemonía de la agricultura industrializada produciéndose la sustitución definitiva de los ciclos cerrados de energía y materiales por la utilización masiva de insumos externos procedentes de energías no renovables cerrándose así el ciclo de la modernización agraria: la lógica de la naturaleza es sustituida por la industrial regida por el mercado y la obtención del lucro por parte de las empresas multinacionales y de los bancos especuladores, que adquieren una dimensión hegemónica a través de la globalización.

El desarrollo de las fuerzas productivas basadas fundamentalmente en la utilización de recursos no renovables se inició hace apenas dos siglos, siendo su ritmo de crecimiento especialmente rápido y virulento a partir de los años cuarenta del presente siglo. Ello ha ocasionado efectos negativos sobre los recursos naturales abióticos y los propios seres vivos, incluido el ser humano. Aunque destacan por la magnitud de sus efectos las actividades industriales (hecho directamente relacionado con la envergadura de las tecnologías empleadas), la agricultura industrializada, que también ha incorporado tecnologías altamente contaminantes (plaguicidas, abonos químicos...), ha desarrollado prácticas destructivas (quema de residuos de cosechas, laboreos profundos y reiterativos...) y ha uniformizado su materia prima básica (semillas y razas animales), no se mantiene ajena a los mismos, como puede verse en la tabla 1, que preparamos para el Manual donde elaboramos una propuesta alternativa de manejo (Guzmán *et al.* 2000) desde la Agroecología.

La degradación del suelo (erosión hídrica y eólica, salinización y sodización, degradación química, física y biológica) es una de las mayores amenazas para la sostenibilidad de la agricultura; Barney (1982) mostró ya hace dos décadas la creciente pérdida del suelo desde las 0,4 hectáreas agrícolamente disponibles por persona en los años setenta, hasta las 0,25 ha/persona que preveía para el año 2000. Igualmente Myers (1987) estimaba que la superficie cultivable pasaría de 1500 millones de hectáreas en 1975 a 1000 millones en el año 2025, es decir, quedará reducida a dos terceras partes. Pues bien, ambas estimaciones han quedado ampliamente rebasadas por la degradación real a que se ha visto sometida el suelo como consecuencia de ser tratado como si tan solo fuese un mero soporte inerte. La degradación de la atmósfera se desarrolla a través del efecto invernadero y el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la lluvia ácida y la polución generalizada. Ello afecta a todas las formas de vida de la naturaleza. Igualmente sucede con el agua, cuya polución es probablemente el efecto medioambiental más dañino y extendido de la producción agrícola. La diversidad de los recursos

genéticos de carácter agrícola y ganadero es probablemente la externalidad mas comúnmente aceptada por las instituciones modernas que, en la práctica, ignoran su existencia dando así apoyo empírico a lo que denominó Beck (1998) como la Sociedad del riesgo en que vivimos.

Riesgo y globalización en la Modernización Reflexiva: ¿Hacia una agricultura transgénica?

Se debe a Ulrich Beck la, en nuestra opinión, más lúcida interpretación de la vertiginosa dinámica de cambio a que está sometida la sociedad actual. Su herramienta de análisis se llama "modernización reflexiva". Significa ésta, "un cambio de la sociedad industrial que ocurre, en forma subrepticia y no planeada, en la estela automatizada de la modernización normal y con un intacto orden político y económico, que implica lo siguiente: una radicalización de la modernidad que rompe las premisas y contornos de la sociedad industrial y abre caminos a otra modernidad" (Beck *et al.* 1994:3). El dinamismo de la sociedad capitalista postindustrial socava sus propios fundamentos al perder el conocimiento de su conocimiento tecnológico quedando sus instituciones de control y protección imposibilitadas de manejar los riesgos sociales, económicos políticos e individuales a que se ve sometida por su ineluctable cambio social vinculado a la globalización y al neoliberalismo económico actual (Beck 1998: 26-32). Sus propias instituciones producen y legitiman amenazas que no pueden controlar. "Surge una situación completamente distinta cuando los peligros de la sociedad industrial comienzan a dominar los debates y conflictos públicos, políticos y privados (Beck *et al.* 1994: 5). Lamentablemente, las limitaciones de espacio impuestas en la naturaleza de estos papeles nos impiden desarrollar la densidad teórica y riqueza analítica de este concepto; empero ello no nos impedirá esbozar sus rasgos genéricos así como apuntar la necesidad de elaborar una crítica sustantiva al mismo: su etnocentrismo.

Aunque, Ulrich Beck, Anthony Giddens y Scott Lash reconozcan, en su denso debate, que la mayor parte de la literatura relativa al postmodernismo se pierda en elucubraciones estériles, ellos mismos pecan de la más importante dimensión que esteriliza este debate: no tener en cuenta a "los pueblos sin historia" (Wolf 1982). Como pretendemos esbozar en este trabajo, existe una respuesta desde "otra modernidad" que se escapa a sus conceptualizaciones; aunque muchas de sus categorías ciertamente resultan atinadas captando elementos clave de la respuesta de los "sin voz". En efecto, uno de los elementos clave de su debate lo constituye el concepto de "detradicionalización" para significar, el cambio de status que la tradición juega dentro de la postmodernidad y que tiene mucho que ver con lo que Habermas (1981) considera al analizar la "modernidad estética" como intento de recuperar a través de alguna forma de

imitación lo antiguo en la conformación de “la conciencia de una nueva época histórica”.

Aunque el contexto, antes apuntado, de la “modernización reflexiva” se vea impotente de controlar la actual crisis ecológica, se producen distintas respuestas desde la sociedad civil, surgiendo así lo que Beck llama la “subpolítica” como renacimiento no institucional de lo político (Beck *et al.* 1994: 17). Desde la sociedad civil vinculada al manejo de los recursos naturales se genera una subpolítica específica que esbozaremos esquemáticamente en la conclusión final; forma parte ésta, de la resistencia contra la globalización económica y neoliberalismo que se organiza y se extiende a escala mundial desde finales de los ochenta como consecuencia de una progresiva confluencia de distintos procesos de antagonismo, que hemos caracterizado en otro lugar (Fernández Durán & Sevilla Guzmán 1999: 359-375). Pasamos pues ahora a considerar esquemáticamente la naturaleza del proceso de globalización en la actualidad.

Se debe a Castells (1997) en su enciclopédico y prolijo trabajo, *La Era de la Información: Economía, Sociedad y Cultura*, la más ambiciosa caracterización de, por un lado, las pautas emergentes del tipo de sociedad actual y, por otro del proceso de articulación del neoliberalismo con la globalización económica. Merece la pena detenerse en su análisis, aunque teniendo bien presente que sus sofisticadas interpretaciones se ven fuertemente sesgadas por la ausencia de herramientas analíticas respecto al problema medioambiental y al conocimiento ecológico existente. Así, para el citado profesor de Berkeley, “la productividad es la fuente del progreso económico mediante el aumento del producto (output) por unidad de insumo (input), a lo largo del tiempo la humanidad acabó dominando las fuerzas de la naturaleza y, en el proceso, se dio forma como cultura (*ibid*: 94). Los conceptos de progreso y cultura, como puede verse, se utilizan desde una perspectiva etnocentrista. En efecto, el progreso de una “forma de productividad” que no internaliza los costes medioambientales ni sociales es tan sólo un progreso para las minorías acomodadas en los espacios privilegiados de la estructura de poder generada por el proceso de reproducción de “nuevas Europas” iniciado en 1492 por la identidad sociocultural europea. La crisis ecológica global generada por dicha productividad se ve también unida a la pérdida de la diversidad sociocultural resultante del proceso, como se desprende de la propia interpretación de Castells al hablar de cultura en singular. Como muestra la implacable evidencia empírica ya acumulada, es precisamente la creencia de que la humanidad pueda “dominar la naturaleza a través de la productividad” lo que ha generado la crisis ecológica y social que vivimos. Es el hecho de que el profesor Castells defina, desde la propia lógica neoliberal, los mecanismos de funcionamiento de la economía lo que nos lleva a seguir su discurso en las siguientes páginas.

El elemento clave de la articulación entre el neoliberalismo y la globalización económica lo constituyen,

en nuestra opinión, el hecho de que el conocimiento (la ciencia y su autolegitimación, defendida por la estructura de poder en torno a ella generada) que sirve para interpretar el funcionamiento de la economía y la sociedad haya sido generado dentro de la lógica de la “defensa de los valores occidentales” sin capacidad de asimilar otro tipo de valores; es decir, sin aceptar la biodiversidad cultural del planeta. Con esta aclaración, adquiere su verdadero sentido la definición que el profesor Castells realiza de la economía actual como informacional y global. “Es informacional porque la productividad y la competitividad de las unidades o agentes de esta economía (ya sean empresas, regiones o naciones) depende fundamentalmente de su capacidad de generar, procesar y aplicar con eficacia la información basada en el conocimiento”. La imposición coactiva del modelo productivo occidental al resto del mundo ha tomado diversas y variable formas. Su expansión inicial fue lenta y errática, adquiriendo una desmesurada agresividad en la situación actual. En tan largo camino, el momento clave lo constituye el establecimiento de la estructura de poder internacional elaborado a partir de las instituciones de Bretton Woods y la utilización del conocimiento como poder a través del concepto de desarrollo y su implementación (Sachs 1992).

El modelo productivo occidental, en la actualidad, tiene un funcionamiento global “porque, la producción, el consumo y la circulación, así como sus componentes (capital, mano de obra, materias primas, gestión, información, tecnología, mercados), están organizados a escala global, bien en forma directa bien como una red de vínculos entre los agentes económicos. Es informacional y global porque, en las nuevas condiciones históricas, la productividad se genera y la competitividad se ejerce por medio de una red global de interacción”. Aún cuando la rentabilidad privada es la motivación última de su lógica de funcionamiento, la innovación tecnológica e institucional son los factores clave que transforman la “tecnología, incluida la organización y gestión, como principal factor inductor de la productividad”, que se desarrolla en seno de las empresas, las naciones y las entidades económicas regionales, agentes reales del crecimiento económico. Sin embargo, el elemento clave del funcionamiento del sistema lo constituye la competitividad que adquiere sentidos muy diferentes cuando se refiere a cada uno de tales agentes; es decir, a empresas, a estados nacionales o a entidades económicas regionales de naturaleza internacional. El actor último generador de las condiciones de la competitividad lo constituyen los estados que, articulados en entidades económicas más amplias, realizan los pactos que entre ellos se establecen para ejercer su poder generando las citadas condiciones de competitividad (Castells 1997: 93, 107-108).

Son tres los factores que generan la dinámica de competitividad entre los agentes económicos de la economía global: por un lado, la capacidad tecnológica, como “articulación apropiada de ciencia, tecnología,

gestión y producción"; por otro, el acceso a un mercado "extenso integrado y rico", determinado por el grado de integración a una zona económica y finalmente, "la tercera fuente de competitividad lo constituye el diferencial entre los costes de producción en el lugar de producción y los precios en el mercado de destino (*Ibid*: 130 y 132). Tales factores están interconectados debiendo estar integrados en la estrategia de las empresas para su funcionamiento en la economía global. No obstante, el ejercicio de la competitividad, sólo tiene lugar a través de la generación política de las condiciones que la posibilitan. En efecto, en la economía global los estados se vinculan directamente a empresas o complejos económicos transnacionales que no están ubicadas en su país; los intereses específicos del Estado exigen, por razones de competencia, elaborar una estrategia explícita de productividad y tecnología vinculadas a ellas ya que así será posible utilizar las empresas de su país como instrumentos de defensa del interés nacional.

En efecto son los estados quienes generan la competitividad mediante las relaciones de poder con las empresas multinacionales llegando a crear las tendencias del mercado: la economía global responde, básicamente, a la estructura del poder político. Y ello, en las tres regiones principales y sus zonas de influencia -Norteamérica, Europa y el Pacífico asiático, en torno a Japón-. Sin embargo, no son los estados quienes ejercen su hegemonía a través de los mecanismos de la "competitividad global"; son las grandes empresas multinacionales y sus asociaciones quienes fuerzan la intervención política obligando a los estados a dismantelar sus aparatos de protección social con vistas a la realización de la utopía del mercado libre y al establecimiento de "formas mínimas de Estado". Así los estados, aunque busquen la expansión de la renta de sus ciudadanos (por cierto, con una fuerte diferenciación social) mediante intervenciones en sus zonas de influencia se ven obligados a convertirse en "estados activistas" sujetos a la articulación del sistema de interrelaciones de la economía global. La globalización económica funciona a través de procesos en los que los estados nacionales se articulan, entremezclan e imbrican a través de actores transnacionales que generan estructuras de poder.

Los mecanismos hasta aquí esquematizados permiten a las multinacionales adquirir un enorme poder, ejercido fundamentalmente a través de los mercados financieros, de forma tal que, como señala Ulrich Beck, pueden exportar puestos de trabajo donde sean más bajos los costes laborales y las cargas fiscales; pueden desmenuzar sus productos, servicios y trabajo por todo el mundo; pueden obtener "pactos globales" para tener condiciones impositivas más suaves e infraestructuras más favorables, llegando a castigar cuando sea necesarios a los propios estados-naciones. Su poder de negociación en esta red de interacciones de poder les permite distinguir entre el lugar de sus inversiones, el lugar de sus producciones y el lugar de sus declaraciones fiscales, separándoles de su lugar de residencia. Se está produciendo, así, "una toma de

los centros materiales vitales de las sociedades modernas", sin revolución ni cambio de leyes, sino tan sólo, mediante el desenvolvimiento de la vida cotidiana y del "bussines as usual" (Beck 1998). El resultado sobre la mayor parte de la humanidad de este proceso es comparable a lo acaecido durante el siglo XIX: crecimiento a gran escala del capital acompañado por un aumento del desempleo, la pobreza, el crimen y el sufrimiento. Los sectores sociales más golpeados por la globalización, hasta ahora caracterizada, son sin duda aquellos que integran el campesinado con sus múltiples identidades socioculturales configuradas a lo largo de la historia, a través de su coevolución con los recursos naturales de quienes surge, en última instancia, su auténtica naturaleza: la generación de su cultura específica a través de tales intercambios. Es en este contexto que se está produciendo una violenta agresión a la biodiversidad sociocultural, a través de lo que ya se define como la segunda Revolución Verde.

Del impacto de la Agricultura transgénica sobre el campesinado ²

En efecto, durante la última década, con el mismo argumento utilizado por la Revolución Verde, de paliar el hambre en el mundo, se está intentando iniciar, por parte de las corporaciones transnacionales (las mismas que durante los últimos treinta años acumularon las ganancias de los agroquímicos) una "biorrevolución transgénica". Consiste ésta en sustituir la biotecnología de naturaleza industrial por otra nueva, ofrecida por la ingeniería genética, que permite manipular el ADN trasladando los genes entre especies para incentivar la manifestación de los rasgos genéticos deseados en plantas y animales. Se pasaría así, de una "agricultura industrializada" a una "agricultura transgénica" incrementando el proceso de degradación de la naturaleza y la sociedad.

Aunque los riesgos ambientales de los cultivos transgénicos -pérdida de la diversidad genética y promoción de su erosión; mutación a, y/o creación de, supermalezas; creación de nuevas razas patógenas de bacterias; generación de nuevas variedades de virus más nocivas; entre otros- se encuentran ya suficientemente documentados (Rissler & Mello 1996, Krimsky & Wrubel 1996, Altieri 1998); no sucede lo mismo respecto a los riesgos vinculados a la salud, al no disponer aún de tiempo suficiente como para contrastar los claros indicios que comienzan a percibirse y que, un mínimo principio de precaución, ha llevado a la movilización de la sociedad civil de varios países. De lo que no cabe duda es del impacto social y

2 Una primera versión de este epígrafe fue presentado como Ponencia al **18 Seminario Panamericano de Semillas**. Santa Cruz. Bolivia. 1-3 de Julio 2002, para corresponder a la invitación recibida para asistir al Foro Continental de la sociedad Civil: **"Por una América Latina libre de transgénicos: Por la Seguridad y Soberanía Alimentaria de Nuestros Pueblos"**. Santa Cruz. Bolivia, 1-3 de Julio 2002.

ecológico que tendería a dejar en manos de un puñado de corporaciones transnacionales el monopolio de los alimentos básicos de la población mundial y por tanto la planificación de cultivos a nivel planetario. Problema éste especialmente dramático si tenemos en cuenta que existen actualmente más de 800 millones de personas que pasan hambre y viven en un claro estado de pobreza, no puede permitírnos renunciar a la utilización de tales descubrimientos a la hora de contribuir a resolver dicho problema en el conjunto del planeta.

Existe un nítido consenso científico respecto a que no es la falta de alimentos lo que deteriora la trágica situación de hambre en el mundo. Por el contrario, es la desigual distribución de la riqueza la causa última de tal descomunal injusticia: “En 1999 se produjo suficiente cantidad de granos en el mundo para alimentar una población de ocho mil millones de personas” (Altieri 2001: 18), cantidad ésta no alcanzada todavía por los habitantes de este planeta. Si tal cantidad de alimentos se distribuyeran equitativamente o no se emplearan para alimentar, mediante métodos de naturaleza industrial, a animales para satisfacer el consumo exosomático del primer mundo, el hambre quedaría automáticamente eliminada de la faz de la tierra (Lappe *et al.* 1998).

Una primera aproximación a la evaluación agroecológica del impacto de los cultivos transgénicos sobre las economías campesinas, a través de la metodología que hasta ahora hemos desarrollado, nos permite señalar las siguientes consecuencias:

1. Pérdida de la autosuficiencia agroalimentaria; característica esta como central dentro del rescate que la agroecología propugna de su lógica ecológica para el diseño de modernos sistemas agrícolas de naturaleza medioambiental. Vinculado a ello aparece la generación de una fuerte dependencia de “intereses privados” al mercantilizar los insumos que históricamente han cerrado sus ciclos de materiales y energía dotando a su modo de uso de una alta eficiencia ecológico-energética.
2. Sometimiento del manejo campesino de los recursos naturales a la lógica del mercado, con la ruptura de las matrices socioculturales que mantienen aún, en muchas partes del mundo, lógicas de intercambio vinculadas a cosmovisiones, que han probado empíricamente formas de sustentabilidad ecológica.
3. Pérdida de la legitimidad histórica del campesinado a conservar e intercambiar sus semillas, producto de una coevolución con sus ecosistemas, que asegura el mantenimiento de una biodiversidad, sin la cual la Ciencia no podrá continuar el objeto último de su existencia: contribuir al progreso de la humanidad.
4. Erosión sociocultural de los sistemas ambientales con la pérdida del conocimiento local, campesino e indígena; imprescindible hoy en día para resolver

los problemas medioambientales generados por los excesos químicos que en el pasado generó el, entusiasta e irreflexivo, paradigma modernizador

5. Ruptura de las tecnologías sistémicas sobre el control de plagas y enfermedades; vivo aún en múltiples estilos históricos de manejo de los recursos naturales desarrollado por las etnicidades campesinas que mantienen su identidad sociocultural; preservando así a sus ecosistemas de diversos riesgos ambientales.
6. Desalojo del campesinado de numerosos ecosistemas frágiles, conservados por un manejo de adaptación histórica y cuya modificación, al permitir las tecnologías transgénicas su intensificación, generaría nuevos procesos de exclusión. Y ello sin tener aún la certeza científica de una posterior degradación de tales ecosistemas.
7. Apropiación transnacional de múltiples territorios indígenas, cuyos derechos históricos y, en muchos casos, sabiduría de conservación ecosistémica no pueden ser cuestionados tras un riguroso análisis.
8. Ruptura de la estrategia campesina del multiuso del territorio que han desarrollado históricamente, numerosas culturas campesinas y/o indígenas y que la Agroecología reivindica, en la actualidad para su articulación con nuevas tecnologías de naturaleza medioambiental.

El papel de la Agroecología en la “re” construcción de la soberanía alimentaria

La Agroecología, en su primer manual sistemático (Altieri 1985), fue definida como “las bases científicas para una agricultura ecológica”. Su conocimiento habría de ser generado mediante la orquestación de las aportaciones de diferentes disciplinas para, mediante el análisis de todo tipo de procesos de la actividad agraria, en su sentido más amplio, comprender el funcionamiento de los ciclos minerales, las transformaciones de energía, los procesos biológicos y las relaciones socioeconómicas como un todo.

Sin embargo, la Agroecología, aunque pretenda introducir en su acervo de conocimientos “el estado de la cuestión”; es decir, el nivel de conocimiento científico sobre cada uno de los temas que toca; lo hace en forma selectiva. Dicho en breve: excluye de su acervo agronómico los hallazgos vinculados al enfoque de la agricultura basada en agroquímicos y la sustitución de insumos de naturaleza industrial guiada por la lógica del lucro dependiente del funcionamiento del mercado. Desde esta perspectiva, la Agroecología critica al pensamiento científico; pretendiendo modificarlo además con aquella “práctica campesina” que ha mostrado su sustentabilidad histórica, adoptando con ello una *naturaleza dual*, desde una perspectiva pluriepistemológica. Ello queda excelentemente reflejado en la probable-

mente más acabada caracterización de la Agroecología hasta ahora realizada. Se desvela así, en gran medida, el funcionamiento ecológico necesario para conseguir hacer una agricultura sustentable (Gliessman 1997). Y, ello sin olvidar la equidad; es decir, la búsqueda de la Agroecología de un acceso igualitario a los medios de vida. La integralidad del enfoque de la Agroecología requiere, pues, la articulación de la "ciencia" y de la "praxis" para compatibilizar sus dimensiones ecológica, social, económica y política (Sevilla Guzmán & González de Molina 1993).

La Agroecología utiliza un enfoque integral en la que las variables sociales ocupan un papel muy relevante ya que aunque parta de la dimensión técnica (artificialización ecocompatible de la naturaleza para obtener alimentos) y su primer nivel de análisis sea la finca; desde ella, se pretende entender las múltiples formas de dependencia que el funcionamiento actual de la política, la economía y la sociedad genera sobre los agricultores. Pero además, la Agroecología considera como central la matriz comunitaria en que se inserta el agricultor; es decir la matriz sociocultural que dota de una praxis intelectual y política a su identidad local y a su red de relaciones sociales. La Agroecología pretende pues, que los procesos de transición en finca de agricultura convencional a agricultura ecológica se desarrollen en este contexto sociocultural y político y que supongan propuestas colectivas que transformen las formas de dependencia anteriormente señaladas.

Los sistemas de conocimiento local, campesino o indígenas tienen, a diferencia del conocimiento científico, en su naturaleza estrictamente empírica y en su pertenencia a una matriz sociocultural o cosmovisión contraria a la teorización y abstracción (Toledo 1992, Altieri 1990) la especificidad ecosistémica de cada lugar. La ciencia, por el contrario, reivindica la objetividad, la neutralidad cultural y la naturaleza universal como elementos centrales a su pesquisa. Dicho con otras palabras, la ciencia reclama un contexto independiente de la cultura y la ética. El problema, con tal reclamo y desde una perspectiva agroecológica, es que cuando nos aproximamos a la artificialización de los recursos naturales, nos encontramos con que la naturaleza es producto tanto del contexto biofísico como de la cultura con que interactúa (Toledo, en Sevilla & González de Molina 1993, Beck 1998).

Ello no debe ser entendido como el rechazo a la "ciencia convencional": simplemente significa que esta forma de conocimiento juega un rol limitado en la resolución de los problemas ya que no puede confundirse, como sucede comúnmente, con la sabiduría. La ciencia debe ser entendida como una vía de generación de conocimiento entre otras, mientras que la sabiduría, además de una forma de acceso al conocimiento, incorpora un componente ético esencial, aportado por la identidad sociocultural de donde surge. Pero la ciencia, junto a

una epistemología o forma de crear conocimiento, se ha transformado en una estructura de poder que desarrolla un proceso de recíproca legitimación entre los beneficiarios del crecimiento económico y el "sistema social de la ciencia". Los primeros reclaman la autoridad basándose en la ciencia, mientras que la ciencia es ensalzada por el poder de los "patrones" de la estructura global de poder político y económico, que financian la investigación y extensión (Funtowic & Raveltz 1994). El dominio de tal discurso sobre todas las formas de conocimiento distinto al científico convencional tiende a excluirlo a los espacios de la mitología y la superstición; el enfoque agroecológico pretende rescatarlas y revalorizarlas, consciente de que el conocimiento local, campesino e indígena que reside en los grupos locales, adecuadamente potenciado puede encarar la crisis de modernidad, al poseer el control de su propia reproducción social y ecológica.

Consecuentemente, es central para la agroecología demostrar que la sabiduría, como sistema de conocimiento contextualizador de las esferas biofísica y cultural, posee la potencialidad de encontrar los mecanismos de defensa frente a la realidad virtual construida: tanto por el discurso ecotecnocrático de la "pseudociencia" como poder, como por la negación del conocimiento local campesino e indígena; cooptado, irónicamente por ejemplo, a la hora de registrar sus derechos genéticos de propiedad sobre las semillas (Funtowic & Ravetz 1990, 1994).

Para obtener su objetivo de equidad, la Agroecología (que por su naturaleza ecológica pretende evitar el deterioro de los recursos naturales), ha de rebasar el nivel de la producción para introducirse en los procesos de circulación, transformando sus mecanismos de explotación social (evitando, así, el deterioro que, la veleidat del "valor de cambio", genera en la sociedad). Aparece así la Agroecología como desarrollo sustentable; es decir, la utilización de experiencias productivas de agricultura ecológica -campesina o moderna-, para elaborar propuestas de *acción social colectivas* que desvelen la lógica depredadora del modelo productivo agroindustrial hegemónico, para sustituirlo por otro que apunte hacia una agricultura socialmente más justa, económicamente viable y, ecológicamente apropiada. No es de extrañar, pues, que la Agroecología haya surgido precisamente a través de una interacción entre los productores (que se revelan ante el deterioro de la naturaleza y la sociedad que provoca el modelo productivo hegemónico) y los investigadores y docentes más comprometidos en la búsqueda de alternativas.

La agroecología como resistencia popular agraria a la modernización

De acuerdo con la experiencia acumulada en los últimos quince años mediante la dinámica de acompa-

ñamiento a las experiencias agroecológicas pioneras; y a la confrontación de esta praxis con el conocimiento acumulado sobre el tema por el núcleo inicial de autores que hemos tratado de conceptualizar el manejo ecológico de los recursos naturales³, es posible proponer una definición de Agroecología (obtenida mediante las técnicas participativas con algunas de estas experiencias pioneras; caracterizadas en Argentina: Ottmann *et al.* 2003; y en España: Sevilla Guzmán & ISEC team 1994, Sevilla Guzmán 1999). Así puede definirse ésta como manejo ecológico de los recursos naturales a través de formas de acción social colectiva que presentan alternativas al actual modelo de manejo industrial de los recursos naturales, mediante propuestas, surgidas de su potencial endógeno, que pretenden un desarrollo participativo desde los ámbitos de la producción y la circulación alternativa de sus productos, intentando establecer formas de producción y consumo que contribuyan a encarar la crisis ecológica y social., y con ello a enfrentarse al neoliberalismo y la globalización económica. Con tales acciones político-productivas se coincide en lo sustancial con la referida propuesta agroecológica que surge en Latinoamérica paralelamente a su construcción andaluza (cf también: Altieri 1990, Gliessman 1990, 1997, Toledo 1990, 1991). Tal diversidad sociocultural puede ser el punto de partida de sus agriculturas alternativas, desde las cuales se pretende el diseño participativo de métodos de desarrollo endógeno (Guzmán *et al.* 2000) para el establecimiento de dinámicas de transformación hacia sociedades sostenibles (Sevilla Guzmán & Woodgate 1997).

Su estrategia tiene una naturaleza sistémica, aunque ellos obviamente no la denominen así. Interpretamos que su práctica es sistémica porque parte de la huerta, chacra o finca; de la organización comunitaria de sus grupos de pertenencia en los barrios o pueblos, y del resto de los marcos de relación de sus ámbitos de acción social en las sociedades locales articulados en torno su ecosistema local, sea este rural o urbano. Allí, en sus grupos de pertenencia, se encuentran los sistemas de conocimiento local y/o campesino portadores del potencial endógeno que permite potenciar la biodiversidad ecológica y sociocultural a través de sus experiencias productivas. Cada agroecosistema posee un potencial endógeno en términos de producción de materiales e información (conocimiento y códigos genéticos) que surge de la articulación histórica de cada trozo de naturaleza y de sociedad; es decir,

de su coevolución. Tal potencial tiende a ser degradado y aniquilado, tanto en sus aspectos sociales como ecológicos, por los procesos de la modernización industrial. La agroecología busca utilizar y desarrollar dicho potencial, en lugar de negarlo y remplazar las estructuras y procesos industriales por otras creadas desde lo endógeno.

En nuestra opinión, los aspectos sociales del potencial endógeno deben ser potenciados en la dinámica de la lucha de los grupos locales que se resisten al proceso de modernización industrial de los recursos naturales. Mientras las dimensiones ecológicas están articuladas en el núcleo de la diversidad genética de los agroecosistemas que tales grupos reclaman mantener; el rol de los agroecólogos no consiste solo en investigar los aspectos técnicos del potencial endógeno sino también en implicarse en las luchas políticas y éticas de los grupos locales que buscan mantener sus recursos junto con su identidad: y ello tanto en el Centro como en la Periferia. Los posteriores desarrollos del potencial endógeno descansan sobre el manejo ecológico de los sistemas biológicos. Este difiere del modo industrial de uso de los recursos naturales (Gadgil & Guha 1992) en que tiende a reforzar, en lugar de destruir, los mecanismos de reproducción de la naturaleza.

Una de las características centrales de la agroecología es su respeto por las estructuras y los procesos ecológicos de los cuales, como una especie asociada, puede conseguir su reproducción social, a través de formas de acción social colectiva; en los “campos de acción” (Touraine 1981, Sevilla Guzmán 1991) en que los movimientos sociales puedan articularse a las esferas de la producción y circulación alternativas. La contribución de los movimientos sociales a la Agroecología podría ser esquematizada a través de lo podría denominarse como “las formas de conciencia” agroecológica. Son éstas, *la conciencia de especie* (frente a la explotación ecológica intergeneracional o, en otras palabras; los recursos naturales no son la herencia a nuestros hijos, sino el préstamo de nuestros nietos), *la conciencia de clase* (frente a la explotación económica intrageneracional), *conciencia de identidad* (frente a la discriminación étnica), *conciencia de género* (frente a la discriminación de la mujer) y la *conciencia de explotación generacional* (frente a la discriminación de los mayores y la explotación o marginación de los niños).

La agroecología conceptualizada así, desde la gente, es una respuesta a las estructuras “globales” de poder, generadas por la articulación transnacional de los estados, mediante las organizaciones internacionales, como el Fondo Monetario Internacional, el Banco Mundial y la Organización Mundial del Comercio. Estas han elaborado un discurso ecotecnocrático de la sostenibilidad que presenta los problemas ecológicos y sociales como susceptibles de ser solucionados

3 Surge éste en Latinoamérica desde finales de los años setenta y comienzos de los ochenta, con su centro de gravedad en México (Hernández Xolocotzi 1985-7, Gliessman 1977); y su institucionalización académica en California, primero (Altieri 1985, Gliessman 1990), y a partir de los noventa en España, a partir de Programas de Doctorado y maestría sistemáticos impartidos por el núcleo latinoamericano inicial (cf. Guzmán Casado *et al.* 2000: 11-13 y 81-85).

por la extensión de la ciencia convencional, la tecnología industrial y las "llamadas estructuras democráticas" a todo el planeta (Sachs 1993, Sevilla & Alonso Mielgo 1995.). Sin embargo, como hemos apuntado más arriba el aumento del poder desde "el progreso" tecnoeconómico, está siendo crecientemente oscurecido por la producción de riesgo... (y la) ...lógica de la producción y distribución de riesgos se desarrolla en comparación con la lógica de la distribución de riqueza" (Beck 1992: 12-13). Así, mientras que la ciencia y la tecnología industrial han mantenido hasta aquí el equilibrio entre el crecimiento de la población y la producción de alimentos, las consecuencias medioambientales de este logro parecen amenazar las bases ecológicas de la vida misma. Como Beck (1992) sugiere, nuestro sentido industrial del "estar en riesgo" es tanto producto de nuestro modo de vida industrial, como de una crisis medioambiental "real". Desde la percepción de este "estar en riesgo" a crisis por la gente ha surgido el concepto de "soberanía alimentaria" que pasamos a considerar.

Sobre el concepto de soberanía alimentaria

Desde finales de los años ochenta de la pasada centuria venimos asistiendo a una progresiva confluencia de los procesos de antagonismo a la lógica del despliegue de la globalización económica, desde la sociedad civil (Fernández Durán & Sevilla Guzmán 1999). Aunque sus acciones hayan tenido una dimensión prevalentemente urbana la rebelión de Chiapas, por un lado, y la lucha por la tierra del MST brasileño, han introducido un coherente discurso rural en el movimiento antiglobalización. En otro lugar hemos analizado este tema (Sevilla Guzmán & Martínez Alier 2006) junto con la incorporación a este proceso de: por un lado, los sindicatos campesinos independientes latinoamericanos; y por otro, de una buena parte de las experiencias productivas alternativas con base ecológica desde las que hemos conceptualizado la Agroecología.

Agricultores y campesinos, pertenecientes a las referidas experiencias en Argentina, Brasil, Bolivia, México, Chile y Colombia, se reunieron en Diciembre de 1998 en un lugar de este último país, Pereira, estableciendo una declaración de principios, como miembros del Movimiento Agroecológico de América Latina y el Caribe (MAELA), en la que expresaban su "oposición al modelo neoliberal... por degradar la naturaleza y la sociedad. Al mismo tiempo establecían como un derecho de sus organizaciones locales la "gestión y el control de los recursos naturales... sin depender de insumos externos (agroquímicos y transgénicos), para la reproducción biológica de sus culturas", señalando su "apoyo a la promoción, el intercambio y difusión de experiencias locales de resistencia civil y la creación de alternativas de uso y conservación de variedades locales". Expresaron también

su "solidaridad con el movimiento Sin Tierra del Brasil, los movimientos campesinos de Bolivia, los indígenas Mapuches de Chile, los campesinos indígenas de Chiapas", entre otros grupos, como una muestra de internacionalismo campesino agroecológico.

Es en esta dinámica de articulación de antagonismos donde aparece el concepto de "soberanía alimentaria". En efecto, no es en la abundante literatura académica de la Economía y Sociología Políticas del Sistema Agroalimentario Global donde se configura el citado concepto sino en los espacios de debate generados por las fracciones de la sociedad civil que se enfrentan a la globalización económica. Así, en el Congreso organizado, en octubre del 2000 en Bangalore, por la Vía Campesina y por la Coordinadora Latinoamericana de Organizaciones del Campo (CLOC) sale a la luz dicho concepto como el "derecho de los pueblos a definir su propia Política Agrícola y Alimentaria sin 'DUMPING' hacia otros países". Para Vía Campesina, la Soberanía Alimentaria requiere la existencia de "una producción alimentaria sana, de buena calidad y culturalmente apropiada, para el mercado interior"; lo que implica "mantener la capacidad de producción alimentaria, en base a un sistema de producción campesina diversificada (biodiversidad, capacidad productiva de las tierras, valor cultural, preservación de los recursos naturales) para garantizar la independencia y la soberanía alimentaria de las poblaciones"⁴.

Desde entonces los espacios de debate de los movimientos campesinos incluyen prioritariamente la Soberanía Alimentaria como su principal reivindicación, como son los casos del III Congreso de la CLOC (México 6-11/08/2001) donde se consideró monográficamente el tema, o los Seminarios sobre Diversidad Biológica y

4 Definición elaborada en la Mesa de Soberanía Alimentaria y Comercio Internacional (Japanada Loka, Bangalore, 06 de Octubre del 2000), tras un análisis de: "(a) la importación por India de excedentes de leche subvencionada de la Unión Europea (UE) arruinando así la producción familiar de India; (b) la exportación en el Caribe de cerdo industrial de EE.UU., arruinando así la producción local; (c) la importación por Costa de Marfil de cerdo europeo a un precio subvencionado, tres veces inferior al costo de producción de este país (Costa de Marfil) arruina los productores locales; (d) las exportaciones chinas de hilo de seda a la India a precios muy por debajo del costo de producción en la India, arruina a centenas de miles de familias campesinas del Sur de la India; (e) las importaciones a México, país originario de maíz, de maíz de EE.UU. a bajos precios, arruinan a los productores mexicanos; del mismo modo que las legumbres de México a bajo precio arruinan los productos de Canadá."

Ello se debe a: "la especialización de la producción en regiones que pueden exportar lo menos caro, las importaciones de productos agrícolas con precios por debajo del costo de producción en el país importador, y el otorgamiento por la OMC de ayudas públicas que permiten a los países ricos exportar a precios inferiores de sus costos de producción arruinando la soberanía alimentaria de todas regiones"

Cultural que desde aquel año se han ido celebrando en México, Guatemala y Honduras, donde cientos de organizaciones indígenas, campesinas y sociales buscan estrategias de acción en este sentido. La soberanía alimentaria constituye en la actualidad un tema central en los Foros Sociales mundiales regionales y estatales que moviliza a determinados sectores de la sociedad civil. Ello, unido a la sensibilización de la ciudadanía hacia los alimentos generados en los sistemas agroalimentarios multinacionales por los múltiples escándalos alimentarios esta generando un concepto que se articula inseparablemente con el anterior: el consumo responsable. En el reciente Congreso Mundial de sociología Rural, hemos presentado una panorámica de la resistencia agroecológica a la globalización agroalimentaria mostrando la creciente confluencia de las asociaciones de consumidores aliados con los productores denunciando el trabajo y la comida basura que producen⁵ como consecuencia de los ingredientes (dioxinas en pollos, priones locos en las vacas, antibióticos para el engorde, transgénicos) utilizados para abaratar costos en la producción industrializada.

El riesgo se identifica con nuestra dependencia de un sistema de producción, distribución y consumo experto y globalizado, que nos aliena de las demás personas y del resto de la naturaleza. Tales sistemas están produciendo ya consecuencias inesperadas y cuando esto ocurre frecuentemente, somos capaces de responder. Debido a su complejidad, estos riesgos pueden ser extremadamente difíciles, si no imposibles de interpretar, como resultado de los ásperos debates entre científicos y políticos que frecuentemente presenciemos. Aunque el resultado formal de todo esto es la asunción oficial de un discurso ecotecnocrático de la sostenibilidad (Sevilla & Alonso 1995, Sevilla & Woodgate 1997) existe, como creemos haber mostrado una contundente respuesta de la sociedad civil.

Breve reflexión final, a modo de conclusión

Las múltiples experiencias productivas, que están surgiendo en las últimas décadas, parecen mostrar la emergencia de un nuevo modelo de manejo de los re-

5 Pilar Galindo, Sevilla Guzmán & Joan Martínez Alier, “Agroecological resistance to globalization of agriculture and food in Latin America and Spain”. Symposium on New Social Movements, *World Congress for Rural Sociology*, Trondheim, Norway, July, 24-30, 2004. Se considera específicamente el caso de la Coordinadora de Grupos agroecológicos de Madrid. Ésta se constituyó en noviembre de 2001 como espacio de cooperación para la compra conjunta de diversos grupos de consumo agroecológico en Madrid. Actualmente los miembros de la Coordinadora son: Asaltodemata, La Dragona, Ecosol, El Cantueso, los Grupos Autogestionados de Consumo (GAK) de Caes y Hortaleza, Redes, la Red Autogestionada de Consumo (RAC) y Subiendo al Sur y asumió la coordinación del Área de Agroecología del Foro Social Español.

ursos naturales, basándose en el conocimiento local y su hibridación con tecnologías modernas. Muchas de ellas recrean, de alguna manera, formas históricas de organización socioeconómica vinculadas a su identidad sociocultural. La ciencia agronómica convencional no dudaría a calificar tales experiencias como un nuevo paradigma de desarrollo rural antimodernizador. Tales experiencias se esparcen por todo el planeta y ofrecen un elenco de estrategias productivas, como aquellas que diseña la Agroecología mediante su teoría y práctica, tanto técnico-agronómica como intelectual y política.

Los lugares donde tal disidencia productiva a la modernización agraria se encuentra, están fundamentalmente ubicados en lo que Victor Manuel Toledo percibe como los “dos ámbitos sociales que parecen hoy día mantenerse como verdaderos focos de resistencia civilizatoria”. El primero, al que califica como “postmoderno”, está integrado por “la gama polícroma de movimientos sociales y contraculturales”. El segundo ámbito social, cuya acción social colectiva caracteriza como de resistencia civilizatoria, es ubicado por éste en ciertas “islas o espacios de premodernidad o preindustrialidad” y se encuentran por lo común “en aquellos enclaves del planeta donde la civilización occidental no pudo o no ha podido aún imponer y extender sus valores, prácticas, empresas y acciones de modernidad. Se trata de enclaves predominantemente, aunque no exclusivamente, rurales, de países como India, China, Egipto, Indonesia, Perú o México, en donde la presencia de diversos pueblos indígenas (campesinos, pescadores, pastores y de artesanos) confirman la presencia de modelos civilizatorios distintos de los que se originaron en Europa. Estos no constituyen arcaísmos immaculados, sino síntesis contemporáneas o formas de resistencia de los diversos encuentros que han tenido lugar en los últimos siglos entre la fuerza expansiva de occidente y las fuerzas todavía vigentes de los ‘pueblos sin historia’” (Toledo 2000: 53).

Referencias

- Altieri MA. 1985. Agroecología. Bases Científicas de la Agricultura Alternativa. Valparaíso: CETAL.
- Altieri MA. 1990. Agroecology and Small Farm Development. Ann Arbor: CRC PRESS.
- Altieri MA. 1998. Riesgos ambientales de los cultivos transgénicos: una evaluación agroecológica. Revista del Movimiento Agroecológico de América Latina y el Caribe. Hoja a Hoja de MAELA. 8(13). Noviembre.
- Altieri MA. 2001. Biotecnología agrícola. Mitos, riesgos ambientales y alternativas. Oakland California: FOOD FIRTS/ CIED/PED-CLADES.
- Barney GO. 1982. El mundo en el año 2000. En los albores del siglo XXI. Informe técnico. Tecnos. Madrid.
- Beck U. 1998. ¿Que es la globalización?. Barcelona: Paidós.

- Beck U. 1992. *The Risk Society*. Barcelona: Paidós.
- Beck U, Giddens A, Lash S. 1994. *La sociedad Reflexiva*. Madrid: Alianza.
- Castells M. 1997. *La era de la Información: Economía, Sociedad y Cultura*. Madrid: Alianza.
- Fernández Durán R, Sevilla Guzmán E. 1999. La resistencia contra la globalización económica y el neoliberalismo En *Una nueva mirada a la ecología humana* (Ricaldi T, ed). Cocabamba: CESU/UNESCO.
- Funtowic S, Ravetz J. 1990. *Uncertainty and Quality in Science and Polity*. Kluwer, Dordrecht.
- Funtowic S, Ravetz J. 1994. *Epistemología Política: ciencia con la gente*. Buenos Aires: Centro editor de América Latina.
- Gadgil M, Guha R. 1992. *This Fissured Land*. Delhi: Oxford University Press.
- Giner S, Sevilla Guzmán E. 1980. The Demise of the Peasant: some Reflections on Ideological Inroads into Social Theory. *Sociologia Ruralis* 30(1,2): 13-27.
- Gliessman SR. 1990. Understanding the basis of Sustainability for Agriculture in the Tropics. En *Sustainable Agricultural Systems* (Edwards CA et al., eds). Anckley, Iowa: Soil and Water Conservation Society.
- Gliessman SR. 1997. *Agroecology. Researching the Basis for Sustainable Agriculture*. New York: Verlang.
- Guzmán Casado G, González de Molina M, Sevilla Guzmán E. 2000. *La agroecología como desarrollo rural sostenible*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Habermas J. 1971. *Toward a Rational Society*. London: Heinemann.
- Habermas J. 1972. Science and Technology as Ideology. En *Sociology of Science* (Barnes B, ed.). Penguin Books. Harmondsworth, pp. 353-375.
- Habermas J. 1989. *El discurso filosófico de la modernidad*. Madrid: Taurus.
- Hernández Xolocotzi E. 1985-87. *Xolocotzia, Obras de Efrín Hernández Xolocotzi*. Revista de Geografía Agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Krimsky, Wrubel. 1996. *Agricultural Biotechnology and the Environment: Science, Policy and Social Issues*. University of Illinois Press, Urbana.
- Lappe FM, Collins J, Rosset P, Esparza L. 1998. *World Hunger*. New York: Food First & Grove Press.
- Myers N (coord.). 1987. *Atlas GAIA de la gestión del Planeta*. Madrid: Hermann Blume.
- Ottmann G, Sevilla Guzmán E, CEPAR. 2003. Una estrategia de sustentabilidad agroecológica en Argentina: el caso de Santa Fe. En *Prácticas participativas desde el medio rural* (Encina J, Fernández M, Ávila MA, Rosa M, coord.). Madrid: IEPALA Editorial/CI-MAS, pp. 199-240.
- Ottmann G. 2005. *Agroecología y Sociología Histórica desde Latinoamérica. Elementos para el análisis y potenciación del movimiento agroecológico: el caso de la provincia argentina de Santa Fe*. Mexico/Madrid/Córdoba: PNUMA/Mundi-Prensa/Universidad de Córdoba.
- Rissler J, Mellon M. 1996. *The Ecological Risks of Engineering Crops*. Cambridge: MIT Press.
- Rooset P. 1998. *Mitos de la revolución verde*. Oakland: Food First.
- Sachs W (ed.). 1992. *The Development Dictionary: a Guide to Knowledge as Power*. London: Zed Books.
- Sachs W (ed). 1993. *Global Ecology: a New Arena of Political Conflict*. London: Zed Books.
- Sevilla Guzmán E. 1991. Una propuesta de desarrollo rural endógeno para Andalucía. *Revista de Estudios Regionales* 31: 251-264.
- Sevilla Guzmán E. 1999. Asentamientos rurales y agroecología en Andalucía. *Cuadernos Africa, América Latina*. 35.
- Sevilla Guzmán E, González de Molina M. 1993. *Ecología, campesinado e historia*. Madrid: La Piqueta.
- Sevilla Guzmán E, ISEC team. 1994. The Role of Farming System Research/Extension in Guiding Low Inputs System toward Sustainability. An Agroecological Approach for Andalusia. En Dent JB, McGregor MJ (eds.), pp. 305-319.
- Sevilla Guzmán E, Alonso Mielgo A. 1995. Sobre el discurso ecotecnocrático de la sostenibilidad. En *Agricultura y desarrollo sostenible* (Cárdenas A, ed.). Madrid: MAPA, Serie Estudios.
- Sevilla Guzmán E, Woodgate G. 1997. Sustainable rural development: from industrial agriculture to agroecology. En *The International Handbook of Environmental Sociology* (Redclift M, Woodgate G, eds). Cheltenham: Edward Elgar.
- Sevilla Guzmán E, Martínez Alier J. 2006. New social movements and agroecology. En *Handbook of Rural Studies* (Cloke P, Marsden T, Mooney P, eds.). London: SAGE Publications.
- Stavenhagen R. 1990. *The Ethnic Question*. Hong Kong: United Nations.
- Toledo VM. 1991. La resistencia ecológica del campesinado mexicano (en memoria de Angel Palerm). En *Ecología Política* 1.
- Toledo VM. 1992. What is Etnoecology?. *Etnoecológica* 1: 5-21.
- Toledo VM. 2000. La paz en Chiapas: ecología, luchas indígenas y modernidad alternativa. Morelia/Mexico, DF: Instituto de Ecología/Ediciones Quito.
- Touraine A. 1981. *The Voice and the Eve: An Analysis of Social Movements*. Cambridge: University Press.
- Wolf ER. 1982. *Europe and the People Without History*. Berkeley: University of California Press.

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE SISTEMAS AGRÍCOLAS DE FINCAS EN MISIONES, ARGENTINA, MEDIANTE EL USO DE INDICADORES

Santiago J Sarandón¹, María Soledad Zuluaga², Ramón Cieza³, Camila Gómez⁴, Leonardo Janjetic⁴, Eliana Negrete⁴

¹Agroecología, CIC Pcia. de Bs. As, Facultad de Cs. Agrarias y Forestales, UNLP, CC 31, 1900, La Plata, Argentina. ²Cerealicultura, ³Dpto. de Desarrollo Rural, ⁴Facultad, Cs. Agrarias y Forestales, UNLP. E-mail: sarandon@ceres.agro.unlp.edu.ar

Resumen

La evaluación de la sustentabilidad de agroecosistemas requiere transformar aspectos complejos en otros más claros, objetivos y generales que permitan detectar tendencias a nivel de sistema, denominados indicadores. El objetivo de este trabajo fue el desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de agroecosistemas de pequeños productores en la Provincia de Misiones, Argentina. Se analizaron 5 fincas, dedicadas a la producción de autoconsumo. Se construyeron indicadores para evaluar el cumplimiento de objetivos económicos, ecológicos y socioculturales. Los indicadores se estandarizaron y se ponderaron de acuerdo a su importancia. El uso de indicadores permitió observar claras tendencias en la sustentabilidad general y en los aspectos económicos, ecológicos y socioculturales. Se observó una alta interdependencia entre las diferentes dimensiones de la sustentabilidad. El cumplimiento de los objetivos ecológicos estuvo condicionado por aspectos económicos y socioculturales. La producción para autoconsumo resultó ecológica, con baja utilización de insumos externos, compatible culturalmente con la conciencia de los productores y proveyó de una dieta adecuada. Este sistema productivo cumpliría objetivos ecológicos, sociales y culturales pero sólo parcialmente los económicos, por lo que los productores se ven obligados a incluir el cultivo de tabaco que responde a un modelo de alto uso de insumos, a cambio de ciertos beneficios, como la obra social. Se concluye que el desarrollo de indicadores es adecuado para detectar puntos críticos a la sustentabilidad, establecer sus causas y proponer soluciones a mediano plazo.

Palabras clave: Agricultura sustentable, agroecosistemas, Agroecología, análisis multicriterio.

Summary

Sustainability evaluation of agricultural systems at a farm level in Misiones, Argentina, by means of indicators

The evaluation of agroecosystems sustainability requires to transform complex aspects in another more simple, objectives and generals that allow to detect tendencies at a system level, called indicators. The aim of this paper was to develop a set of indicators to evaluate the sustainability of traditional agroecosystems in Misiones, Argentina. Five farms, dedicates to self-production were analysed. A set of indicators was constructed to evaluate the fulfilled of Economics, Ecological and Socio-cultural objectives. The indicators were standardized and weighted according to its importance. The use of indicators allowed to detect clear tendencies in general sustainability index and in the ecological, economical and sociocultural dimensions. The ecological sustainability of these agroecosystems was associated to economical and sociocultural aspects. The system were ecologically sound, based on low external inputs, compatible with farmer conscience and provide an adequate diet for the family. This system fulfilled ecological and sociocultural objectives, but only partially the economical ones. Then, farmers have to produce tobacco crop that responds to a technological model based on high inputs use to obtain economical benefits. It is concluded that the development of indicators is adequate to detect critical point to sustainability, to understand its causes and to propose solutions on a long time.

Keywords: Sustainable agriculture, agroecosystems, Agroecology, multiobjectives analysis.

Introducción

A pesar del interés en la evaluación de la sustentabilidad de los agroecosistemas surgido en los últimos años, no se han logrado grandes avances, entre otras razones, por la dificultad de traducir los aspectos filosóficos e ideológicos de la sustentabilidad en la capacidad de tomar decisiones al respecto (Bejarano Ávila 1998). La evaluación de la sustentabilidad se ve afectada por problemas inherentes a la propia multidimensión del concepto (ecológica, económica, social, cultural y temporal). Por lo tanto, requiere un abordaje holístico (Andreoli & Tellarini 2000) y sistémico, donde predomine el análisis multicriterio, que ha mostrado ser adecuado para el análisis de la sustentabilidad en algunos agroecosistemas (Mendoza & Prabhu 2000, Evia & Sarandón 2002).

A pesar de esto, muchas veces, la investigación científica requiere ir más allá de los conceptos holísticos de la sustentabilidad, hacia otros más específicos y susceptibles de medición (Izac & Swift 1994). Diversos autores se han ocupado en proponer sistemas de indicadores (Torquebiau 1972, Izac & Swift 1994, Bockstaller *et al.* 1997, Hansen & Jones 1996, Lewandowski *et al.* 1999, Smyth & Dumansky 1995, Gómez *et al.* 1996, Sarandón 2002, López Ridaura *et al.* 2002, Van der Werf & Petit 2002), entendidos estos como "algo que hace claramente perceptible una tendencia o un fenómeno que no es inmediatamente ni fácilmente detectable, y que permiten comprender, sin ambigüedades, el estado de la sustentabilidad de un agroecosistema o los aspectos críticos que ponen en peligro la misma" (Sarandón 1998). A pesar de que varios autores han abordado la evaluación de la sustentabilidad, tanto en el ámbito regional (Winograd *et al.* 1998, Sepúlveda *et al.* 2002), como en el de finca (Gómez *et al.* 1996, Bockstaller *et al.* 1997, Lefroy *et al.* 2000, Tellarini & Caporali 2000, Pacini *et al.* 2003, Sarandón *et al.* 2003), en general, se coincide en que no existe un conjunto de indicadores universales que puedan ser utilizados para cualquier situación. Por lo tanto, estos deben construirse y adaptarse a la situación en análisis y ser adecuados para los objetivos propuestos.

Un escenario interesante para aplicar y validar indicadores es el estudio de aquellos sistemas agrícolas que han podido mantenerse en el tiempo, demostrando, en la práctica, cierto grado de sustentabilidad "de hecho". De acuerdo con Altieri (1995) y Toledo (1993), los sistemas "tradicionales", tenderían a hacer un uso más sustentable (ecológicamente adecuado) de los recursos naturales, debido a la coevolución de los agricultores con su medio ambiente. A pesar de que algunos de estos sistemas de bajos insumos, generalmente desarrollados por agricultores de escasos recursos para la autosuficiencia alimentaria, son considerados "a priori" como sustentables, no existen muchos estudios que demuestren estas presunciones.

En la Provincia de Misiones, Argentina, existen sistemas de producción, de pequeñas dimensiones, donde

agricultores de escasos recursos realizan una producción diversificada, generalmente destinada al autoconsumo. Aparentemente, estos sistemas cumplirían con los requisitos necesarios para ser considerados sustentables; de hecho son "a priori" considerados de esa manera. Sin embargo, es necesario analizar si realmente estos sistemas realmente cumplen con este objetivo y, lo que resulta aún más importante, cuáles son las razones de esta sustentabilidad, de manera de poder predecir problemas futuros y brindar recomendaciones tendientes a su solución.

El objetivo de este trabajo fue analizar la utilidad del desarrollo y uso de indicadores para evaluar los aspectos críticos a la sustentabilidad de agroecosistemas de pequeños productores en la Provincia de Misiones, Argentina.

Materiales y Métodos

Descripción del lugar

Se analizaron, como estudios de casos, 5 fincas de la localidad de Colonia Güemes, Misiones, Argentina; ubicada en los 26°30' Latitud Sur. El clima es subtropical sin estación seca, con temperaturas medias anuales superiores a 20 °C, y amplitud térmica anual de 10 °C. Las precipitaciones anuales rondan los 1500 mm. Esta región presenta lomas con pendientes medianas y cortas con un 5 a 25 % de gradiente. Los suelos corresponden al orden de los oxisoles, con presencia de óxido de hierro, textura arcillosa, ácidos y de baja a mediana fertilidad natural. La vegetación, al igual que en casi toda la provincia, es de tipo de selva subtropical, degradada por acción antrópica.

Las fincas analizadas, tienen una superficie de 20-25 has. y poseen dos tipos de producciones totalmente diferentes que coexisten en la misma finca. Una producción para autoconsumo, basada en algunos cultivos (maíz, sorgo, girasol, mandioca, zapallo), horticultura, aves de corral (gallinas y patos), conejos, porcinos y ganado de carne y leche. Esta producción está basada en una baja utilización de insumos externos, complementada y/o articulada entre sí, que le permite a la familia acceder a una dieta adecuada y, en algunos casos, vender los excedentes. Este estilo de producción, que podría caracterizarse como ecológica, se contrapone con otra: el tabaco. Este cultivo se realiza con una alta carga de insumos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas), que impacta negativamente sobre el ambiente. Sin embargo, es una fuente importante de ingreso y les brinda acceso a la obra social.

Marco conceptual de la sustentabilidad

Para la evaluación de la sustentabilidad se consideró que los sistemas debían mantener constante el capital natural, entendido como las reservas ambientales que proveen bienes y servicios en el futuro (Costanza & Daly 1992, Harte 1995). Se definió a la agricultura sustenta-

ble, como aquella que permite mantener en el tiempo un flujo de bienes y servicios que satisfagan las necesidades socioeconómicas y culturales de la población, dentro de los límites biofísicos que establece el correcto funcionamiento de los sistemas naturales (agroecosistemas) que lo soportan. La idea de la existencia de un límite a la satisfacción de las necesidades, coincide con el criterio de la sustentabilidad fuerte, que considera que el capital natural puede ser sustituido por capital manufacturado, sólo en algunos casos muy puntuales. Esto implica que no puede admitirse una rentabilidad basada en la degradación de los recursos intra o extraprediales. Por esta razón, se consideró que la satisfacción de las necesidades de los productores (objetivos económicos y sociales) no puede ser lograda a expensas de los recursos naturales (objetivos ecológicos).

De acuerdo con este marco conceptual, la agricultura sustentable debe cumplir satisfactoria y simultáneamente con los siguientes requisitos (Sarandón 2002): 1) Ser suficientemente productiva, 2) Ser económicamente viable, 3) Ser ecológicamente adecuada (que conserve la base de recursos naturales y que preserve la integridad del ambiente en el ámbito local, regional y global) y 4) Ser cultural y socialmente aceptable. Sobre la base de estos requisitos se construyeron indicadores para evaluar el cumplimiento simultáneo de 3 objetivos (económicos, ecológicos y socioculturales) basados en las siguientes hipótesis:

1) Económicos. Hipótesis: Un sistema será económicamente sustentable, si puede proveer la autosuficiencia alimentaria, un ingreso neto anual por grupo familiar y si disminuye el riesgo económico en el tiempo.

2) Ecológicos. Hipótesis: un sistema será ecológicamente sustentable si conserva o mejora la base de los recursos productivos y evita o disminuye el impacto sobre los recursos extraprediales. Se consideraron la conservación de los recursos propios y el impacto ambiental externo.

3) Socio-Culturales. Hipótesis: Un sistema se considera sustentable si mantiene o mejora el capital social, ya que éste es el que pone en funcionamiento el capital natural o ecológico. En este caso, los aspectos que fortalecen las relaciones entre miembros de una comunidad fueron considerados como favorables a la sustentabilidad (Torquebiau 1992). Los indicadores evaluaron la satisfacción del productor, su calidad de vida, su nivel de dependencia, el grado de integración social y su nivel de conciencia y conocimiento ecológicos.

Construcción de indicadores

Los indicadores se construyeron de acuerdo a la metodología y el marco conceptual propuesto por Sarandón (2002), siguiendo los lineamientos de Smyth & Dumansky (1995) y Astier *et al.* (2002). Se consideró al indicador como una variable, seleccionada y cuantificada que hace clara una tendencia que de otra forma no es fácilmente detectable (Sarandón 2002). Se eligieron

indicadores que fueran fáciles de obtener, de interpretar, que brindaran la información necesaria, y que permitieran detectar tendencias en el ámbito de finca. Estos estuvieron compuestos a su vez, por subindicadores y variables seleccionadas y cuantificadas que integran, respectivamente, los indicadores o subindicadores escogidos. Se eligieron indicadores de presión, para evaluar el efecto de las prácticas de manejo sobre algunos componentes o recursos del agroecosistema (finca).

Los datos se obtuvieron mediante encuestas, entrevistas y observaciones a campo realizadas por estudiantes de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata.

Estandarización y ponderación de los indicadores

Para permitir la comparación de las fincas y facilitar el análisis de las múltiples dimensiones de la sustentabilidad, los datos fueron estandarizados, mediante su transformación a una escala, para cada indicador, de 0 a 4, siendo 4 el mayor valor de sustentabilidad y 0 el más bajo. Todos los valores, independientemente de su unidad original, se transformaron o adecuaron a esta escala. Esto permitió la integración de varios indicadores de distinta naturaleza, en otros más sintéticos o robustos. Posteriormente, los indicadores fueron ponderados multiplicando el valor de la escala por un coeficiente de acuerdo a la importancia relativa de cada variable respecto a la sustentabilidad. Este coeficiente multiplica, tanto el valor de las variables que forman el indicador, como el de los indicadores, para construir indicadores de mayor nivel o índices. La ponderación, es un paso inevitable, que puede hacerse por consenso, por medio de la consulta con expertos en el tema (Gayoso & Iroumé 1991), o teniendo en cuenta la opinión de los propios agricultores (Roming *et al.* 1996, Lefroy *et al.* 2000). En este trabajo, la ponderación se realizó por discusión y consenso entre los integrantes del grupo de trabajo. El peso de cada indicador refleja la importancia del mismo en la sustentabilidad.

Resultados

Descripción y ponderación de los indicadores elegidos

La aplicación del marco conceptual y la metodología para la construcción de indicadores adecuados a los objetivos buscados, permitió obtener una serie de indicadores estandarizados y ponderados para las 3 dimensiones analizadas (económica, ecológica y sociocultural).

Dimensión Económica. Para evaluar si los sistemas eran económicamente viables se eligieron los siguientes indicadores.:

A- Autosuficiencia alimentaria. Para este tipo de productores, la autosuficiencia alimentaria se consideró

fundamental para su sustentabilidad. Esta se estimó, a través de 2 indicadores:

A1- Diversificación de la producción. Un sistema es sustentable si la producción alimentaria es diversificada y alcanza para satisfacer el nivel nutricional de la familia: (4): más de 9 productos; (3): de 7 a 9; (2): de 5 a 3; (1): de 3 a 2 productos; (0): menos de 2 productos.

A2- Superficie de producción de autoconsumo. Un sistema es sustentable si la superficie destinada a la producción de alimentos para el consumo es adecuada con relación a los integrantes del grupo familiar. Variable: superficie de autoconsumo (has)/ integrantes de la familia. (4): más de 1 ha; (3): 1 a 0,5 ha; (2): 0,5-0,3 has; (1): 0,3-0,1 has; (0) <= 0,1 has.

B- Ingreso neto mensual por grupo. El sistema es sustentable si puede satisfacer las necesidades económicas del grupo familiar. Estos ingresos fueron evaluados en pesos por mes (4): + de 300; (3): 300-250 ; (2): 250-200 ; (1): 200-100 ; (0): < 100.

C- Riesgo económico. Un sistema será sustentable si minimiza el riesgo económico, asegurando la estabilidad en la producción para las futuras generaciones. Se consideraron 3 aspectos:

C1- Diversificación para la venta. Un sistema será sustentable si el productor puede comercializar más de 1 producto, ya que si sufriera alguna pérdida o daño del mismo, podría compensarlo con los demás productos que vende. (4): 6 o más productos; (3): 5 a 4 productos; (2): 3 productos; (1): 2 productos; (0): 1 producto.

C2- Número de vías de comercialización. La diversificación comercial disminuye el riesgo económico. (4): 5 o más canales; (3): 4 canales; (2): 3 canales; (1): 2 canales; (0): 1 canal

C3- Dependencia de insumos externos. Un sistema con una alta dependencia de insumos es insustentable en el tiempo: (4): de 0 a 20% de insumos externos; (3): de 20 a 40 % de insumos externos; (2): de 40 a 60% de insumos externos; (1): de 60 a 80% de insumos externos; (0): de 80 a 100 % de insumos externos.

Se consideró que el indicador más importante, por las características del grupo productivo, era la autosuficiencia alimentaria, por lo que, en la ponderación, se le otorgó el doble de peso que al resto. El valor del indicador económico (IK), que evaluó la satisfacción de este objetivo, se calculó como la suma algebraica de sus componentes multiplicados por su peso o ponderación, de la siguiente manera:

Indicador Económico (IK):

$$\frac{2((A1 + A2)/2) + B + (C1 + C2 + 2C3)/4}{4}$$

Dimensión Ecológica. Se evaluó a través de 3 indicadores:

A- Conservación de la vida de suelo. Un sistema es sustentable si las prácticas mantienen o mejoran la vida en el suelo. Para construir este indicador se tuvieron en cuenta 3 subindicadores:

A1- Manejo de la cobertura vegetal. La misma provee al suelo de una protección contra los agentes climáticos y disminuye el riesgo de erosión. (4): 100% de cobertura; (3): 99 a 75 %; (2): 75 a 50 %; (1): 50 a 25 %; (0): < 25 %.

A2- Rotaciones de cultivos. (4) Rota los cultivos todos los años. Deja descansar un año el lote, incorpora leguminosas o abonos verdes; (3): Rota todos los años. No deja descansar el suelo; (2): Rota cada 2 ó 3 años; (1): Realiza rotaciones eventualmente; (0): No realiza rotaciones.

A3- Diversificación de cultivos. (4): Establecimiento totalmente diversificado, con asociaciones de cultivos y con vegetación natural; (3): Alta diversificación de cultivos, con asociación media entre ellos; (2): Diversificación media, con muy bajo nivel de asociación entre ellos; (1): Poca diversificación de cultivos, sin asociaciones; (0): Monocultivo.

B- Riesgo de erosión. Un sistema es sustentable si logra minimizar o evitar la pérdida de suelo debido a la erosión (en este caso, hídrica). Se tuvieron en cuenta 3 subindicadores:

B1- Pendiente predominante. (4): del 0 al 5 %; (3): del 5 al 15 %; (2): del 15 al 30 %; (1): del 30 al 45 %; (0): mayor al 45 %

B2- Cobertura vegetal. La misma le provee al suelo una protección contra los agentes climáticos y al riesgo de erosión. (4): 100% de cobertura; (3): 99 a 75 %; (2): 74 a 50 %; (1): 49 a 25 %; (0): 24 a 0 % de cobertura.

B3 Orientación de los surcos. (4): Curvas de nivel o terrazas; (3): Surcos perpendiculares a la pendiente; (2): Surcos orientados 60° con respecto a la pendiente; (1): Surcos orientados 30° con respecto a la pendiente; (0): Surcos paralelos a la pendiente. A ésta, se le otorgó el doble de peso que a las otras variables

C- Manejo de la Biodiversidad. La biodiversidad es importante para la regulación del sistema ya que, entre otras funciones, proporciona hábitat y nichos ecológicos para los enemigos naturales. La diversidad vegetal es la base de la diversidad heterotrófica (Swift *et al.* 2004). El efecto del sistema de manejo de la finca sobre la biodiversidad, se evaluó a través de 2 componentes:

C1- Biodiversidad temporal. Las rotaciones de cultivos en los predios, aumentan la diversidad en el tiempo. (4): Rota todos los años. Deja descansar un año el potrero o incorpora leguminosas o abonos verdes; (3): Rota todos los años. No deja descansar el suelo; (2): Rota cada 2 ó 3 años; (1): Realiza rotaciones eventualmente; (0): No realiza rotaciones.

C2- Biodiversidad espacial. Diversidad de cultivos en el espacio: (4): Establecimiento totalmente diversificado, con asociaciones entre ellos y con vegetación natural; (3): Alta diversificación de cultivos, con media asociación entre ellos; (2): Diversificación media, con muy bajo nivel de asociación entre ellos; (1): Poca diversificación de cultivos, sin asociaciones; (0): Monocultivo.

El indicador o índice que mide el grado de cumplimiento de la dimensión ecológica (IE), se calculó de la siguiente manera, otorgándoseles el mismo peso a los 3 indicadores:

Indicador Ecológico (IE):

$$\frac{(A1 + A2 + A3) / 3 + (2B1 + B2 + 2B3) / 5 + (C1 + C2) / 2}{3}$$

Dimensión Socio-Cultural. El grado de satisfacción de los aspectos socioculturales, se evaluó mediante 3 indicadores:

A- Satisfacción de las necesidades básicas. Un sistema sustentable es aquél en el cual los agricultores tienen aseguradas sus necesidades básicas. Comprende vivienda, educación, salud, servicios. Comprende los siguientes subindicadores:

- A1- Vivienda. (4): De material terminada. Muy buena. (3): De material terminada. Buena. (2): Regular. Sin terminar o deteriorada. (1): Mala. Sin terminar, deteriorada, piso de tierra; (0): Muy mala.
- A2- Acceso a la educación. (4): Acceso a educación superior y/ o cursos de capacitación; (3): Acceso a escuela secundaria; (2): Acceso a la escuela primaria y secundaria con restricciones; (1): Acceso a la escuela primaria; (0): Sin acceso a la educación.
- A3- Acceso a salud y cobertura sanitaria: (4): Centro sanitario con médicos permanentes e infraestructura adecuada; (3): Centro sanitario con personal temporario medianamente equipado; (2): Centro sanitario mal equipado y personal temporario; (1): Centro sanitario mal equipado y sin personal idóneo; (0): Sin centro sanitario.
- A4- Servicios. (4): Instalación completa de agua, luz y teléfono cercano; (3): Instalación de agua y luz; (2): Instalación de luz y agua de pozo; (1): Sin instalación de luz y agua de pozo cercano; (0): Sin luz y sin fuente de agua cercana.

B- Aceptabilidad del sistema de producción. La satisfacción del productor está directamente relacionada con el grado de aceptación del sistema productivo. (4): Está muy contento con lo que hace. No haría otra actividad aunque ésta le reporte más ingresos; (3): Está contento, pero antes le iba mucho mejor; (2): No está del todo satisfecho. Se queda porque es lo único que sabe hacer; (1): Poco satisfecho con esta forma de vida. Anhela vivir en la ciudad y ocuparse de otra actividad; (0): Está desilusionado con la vida que lleva, no lo haría más. Está esperando que se le presente una oportunidad para dejar la producción.

C- Integración social. Se evaluó la relación con otros miembros de la comunidad. (4): Muy alta; (3): Alta; (2): Media; (1): Baja; (0): Nula.

D- Conocimiento y Conciencia Ecológica. El conocimiento y la conciencia ecológica son fundamentales para tomar decisiones adecuadas respecto a la conservación de los recursos. (4): Concibe la ecología desde una visión amplia, más allá de su finca y conoce sus fundamentos; (3): Tiene un conocimiento de la ecología desde su práctica cotidiana. Sus conocimientos se reducen a la finca con el no uso de agroquímicos más prácticas conservacionistas; (2): Tiene sólo una visión parcializada de la ecología. Tiene la sensación que algunas prácticas pueden estar perjudicando al medio ambiente; (1): No presenta un conocimiento ecológico ni percibe las consecuencias que pueden ocasionar algunas prácticas. Pero utiliza prácticas de bajos insumos; (0): Sin ningún tipo de conciencia ecológica. Realiza una práctica agresiva al medio por causa de este desconocimiento.

Dentro de este objetivo, se consideraron de mayor peso los indicadores de satisfacción de necesidades básicas y el grado de aceptabilidad del sistema productivo:

Indicador Sociocultural (ISC):

$$\frac{2((A1 + 2A2 + 2A3 + 2A4) / 7) + 2B + C + D}{6}$$

Por último, con los datos de los macro indicadores económicos (IK), ecológicos (IE) y socioculturales (ISC), se calculó el índice de sustentabilidad general (ISGen), valorando a las tres áreas u objetivos por igual, de acuerdo al marco conceptual definido previamente.

Índice de Sustentabilidad General (ISGen):

$$(IK + IE + ISC) / 3$$

Se definió un valor umbral o mínimo que debía alcanzar el índice de sustentabilidad general (ISGen), para considerar una finca sustentable: igual o menor que el valor medio de la escala, es decir, 2. Además, se consideró que ninguna de las 3 áreas debía tener un valor menor a 2.

Análisis de la Sustentabilidad del manejo de las fincas

El uso de indicadores permitió detectar, a pesar de la similitud entre las fincas, una alta variabilidad en la sustentabilidad general y en las dimensiones económicas, ecológicas y socioculturales. El Índice de sustentabilidad general (ISGen: 2,46) promedio de las 5 fincas, fue superior al valor umbral (Tabla 1), aunque se observaron diferencias entre los valores de las diferentes dimensiones. En promedio, el manejo de las fincas satisfizo en mayor grado los objetivos económicos (2,94), que los

Tabla 1. Valores de los Indicadores empleados en 5 fincas de Misiones, Argentina. AS: autosuficiencia alimentaria, INM: ingreso neto mensual, RE: riesgo económico, IK: indicador de área económica, VS: vida del suelo, REr: riesgo de erosión, MB: Manejo de la biodiversidad, IE: indicador de área ecológica, SNB: satisfacción de necesidades básicas, Acept: aceptación el sistema productivo, InSoc: integración social, ConEc: conocimiento ecológico, ISC: Indicador de área sociocultural, ISGen: índice de sustentabilidad general. La última columna señala el cumplimiento o no, de las condiciones de sustentabilidad general de la finca (ver texto).

Finca	AS	INM	RE	IK	VS	REr	MB	IE	SNB	Acept.	InSoc	ConcEc	ISC	ISGen.	Susten
1	3	0	1,5	1,88	2	1,8	1,5	1,76	1	2	2	0	1,33	1,66	No
2	4	2	3,5	3,37	3	2,8	2,5	2,8	0,57	3	3	3	2,2	2,79	Si
3	4	2	1,75	2,94	2	1,8	1,5	1,8	1	2	2	0	1,33	2,02	No
4	4	4	2,75	3,70	2,3	2,0	2,0	2,11	0,57	3	3	2	2,03	2,61	Si
5	4	1	2,25	2,81	4	3,2	4,0	3,73	1,29	4	4	4	3,1	3,21	Si
Prom,				2,94				2,44					2,0	2,46	
Coef. Variación %				23				34					37	25	

Tabla 2. Variables, subindicadores e indicadores de la dimensión económica (IK) en el análisis de 5 fincas en la Provincia de Misiones, Argentina: Número de productos (Nprod), superficie por persona (SupxPers), IAS: Indicador de autosuficiencia alimentaria, Ingreso neto mensual (INM), Diversificación de la producción (divers), canales de comercialización (canales), Diversificación económica (DIE), Índice de riesgo económico (IRE).

Finca	Autosuf. Alimentaria			Riesgo económico					
	Nprod	SupxPers.	IAS	INM	Divers.	canales	DIE	IRE	IK
1	3	3	3	0	2	0	2	1,5	1,88
2	4	4	4	2	4	2	4	3,5	3,37
3	4	4	4	2	2	1	2	1,75	2,94
4	4	4	4	4	4	3	2	2,75	3,70
5	4	4	4	1	1	0	4	2,25	2,81

Tabla 3. Variables, subindicadores e indicadores de la dimensión ecológica (IEcol) en el análisis de 5 fincas en la Provincia de Misiones, Argentina: Vida del suelo (IVS), Riesgo de Erosión (IRE) y Manejo de la Biodiversidad (IMB): Manejo de la cobertura del suelo (Cob), rotaciones (Rot), y diversidad de vida del suelo (Div), Pendiente (Pte) y Cobertura del suelo (Cob), Orientación de los surcos (Orient), Manejo de la biodiversidad temporal (Temp) y espacial (Esp).

Finca	Vida de suelo			Riesgo de Erosión				Manejo de la Biod.				
	Cob.	Rot.	Div.	IVS	Pte.	Cob.	Orient	IRE	Temp	Esp.	IMB	IEcol.
1	1	3	2	2	3	1	1	1,8	1	2	1,5	1,76
2	2	4	3	3	3	2	3	2,8	2	3	2,5	2,8
3	1	3	2	2	3	1	1	1,8	1	2	1,5	1,8
4	2	3	2	2,33	3	2	1	2,0	2	2	2,0	2,11
5	4	4	4	4	3	4	3	3,2	4	4	4,0	3,73

Tabla 4. Variables, subindicadores e indicadores de la dimensión sociocultural (ISC) en el análisis de 5 fincas en la Provincia de Misiones, Argentina: Satisfacción de las necesidades básicas (ISNB): Acceso a la vivienda (Viv), educación (Edu), Salud y Servicios (Serv).

Finca	Sat. Necesid. Bas.				ISNB	Aceptab.	Integración Social	Conocimiento Ecológico	ISC
	Viv	Edu	Salud	Serv.					
1	3	0	0	2	1	2	2	0	1,33
2	2	0	0	1	0,57	3	3	3	2,2
3	3	0	0	2	1	2	2	0	1,33
4	0	0	0	2	0,57	3	3	2	2,03
5	3	0	0	3	1,29	4	4	4	3,1

ecológicos (2,44) o los objetivos socioculturales (2,0). No todas las fincas cumplieron los requisitos para ser consideradas sustentables. La finca 1 no logró alcanzar el valor umbral (2) en el valor del IGen, ni en ninguna de las dimensiones evaluadas. La finca 3, a pesar de superar el umbral en el valor general (2,02), no alcanzó el valor mínimo en el indicador sociocultural (ISC: 1,33) ni en el ecológico (1,80), por lo que no cumplió con la condición requerida para ser considerada sustentable. El resto de las fincas, 2, 4 y 5 cumplieron los requisitos para ser consideradas sustentables, aunque con diferencias importantes en el valor de los diferentes indicadores.

Los indicadores del área económica (Tabla 2) confirmaron la prioridad que estos productores le otorgan a la autosuficiencia alimentaria (AS). Tanto la diversidad de productos, como su nivel de producción alcanzaron valores casi ideales de este indicador. Sin embargo, el ingreso neto mensual (INM), resultó muy variable. El riesgo económico (RE) en general está bien manejado, debido a una buena diversificación de la producción. En el área económica sólo la finca 1 no alcanzó el nivel del umbral (1,88), por lo que fue considerada económicamente no sustentable.

En el área ecológica se observó una gran variabilidad en los valores de los indicadores entre las distintas fincas (Tabla 3). Las fincas 2, 4 y 5, mostraron valores por encima del umbral, sugiriendo que el manejo de las parcelas dedicadas al autoconsumo es adecuado para la conservación de los recursos, sobre todo de la vida del suelo. Se observó una mayor variabilidad en el manejo de la biodiversidad y, en algunos casos, cierto riesgo de erosión de suelos.

El aspecto más crítico y variable de los sistemas analizados fue el sociocultural (Tabla 4). Dentro de ésta dimensión, las variables que componen el indicador de satisfacción de las necesidades básicas (ISNB), fueron las más bajas, señalando, desde este punto de vista, sistemas bastantes frágiles, fundamentalmente por deficiencias en el acceso a la educación y la salud, que fueron muy similares en todas las fincas (Tabla 4). Sin embargo, los indicadores que evaluaron el grado de aceptabilidad

e integración social, demostraron un buen desarrollo de estos aspectos, que, en parte, compensaron las deficiencias anteriores. Un indicador muy variable fue el que evaluó el grado de conciencia y conocimiento ecológico que sugiere que, a pesar de estar en una misma zona ecológica, pueden existir diferencias marcadas en la percepción del ambiente entre agricultores.

El análisis holístico de los diferentes aspectos de la sustentabilidad permitió abordar la complejidad del análisis y comprender la relatividad de los resultados según las dimensiones de la sustentabilidad analizadas. Sin embargo, cuando se analizaron las fincas teniendo en cuenta sólo parcialmente algunos aspectos, el resultado fue diferente. Desde el punto de vista económico (IK: que en este caso incluyó aspectos no monetarios como la seguridad alimentaria) se encontró que la finca 4 fue la mejor, seguida de la 2, luego la 3 y finalmente la 5 (Fig. 1). Sin embargo, si se admite el principio de sustentabilidad fuerte, que considera que la satisfacción del productor no puede ser lograda a costa de la degradación de los recursos, y se pondera con igual peso el componente ecológico (IE), la finca 4 pasa al 3° lugar y la mejor es la finca 5. Si a estos objetivos agregamos, con igual peso, el componente sociocultural (ISC), entonces la finca 5 es aún más sustentable que el resto y la 1 la peor en todos los aspectos. Este resultado muestra claramente que, según las dimensiones analizadas y el peso que se les otorgue a cada una, un mismo manejo puede ser valorado de diferentes maneras, señalando que un objetivo multidimensional como la sustentabilidad, debe ser abordado por una metodología multiobjetivos como la de los indicadores.

El análisis de los indicadores de las 2 fincas ubicadas en los extremos: la 1 y la 5, a través de un diagrama en tela de araña, permitió detectar grandes diferencias en los componentes de la sustentabilidad (Fig. 2). En la finca 5 el manejo del sistema fue mejor en todos los aspectos analizados, presentando menos puntos críticos que el resto. Varios de los aspectos analizados tuvieron valores cercanos a los ideales.

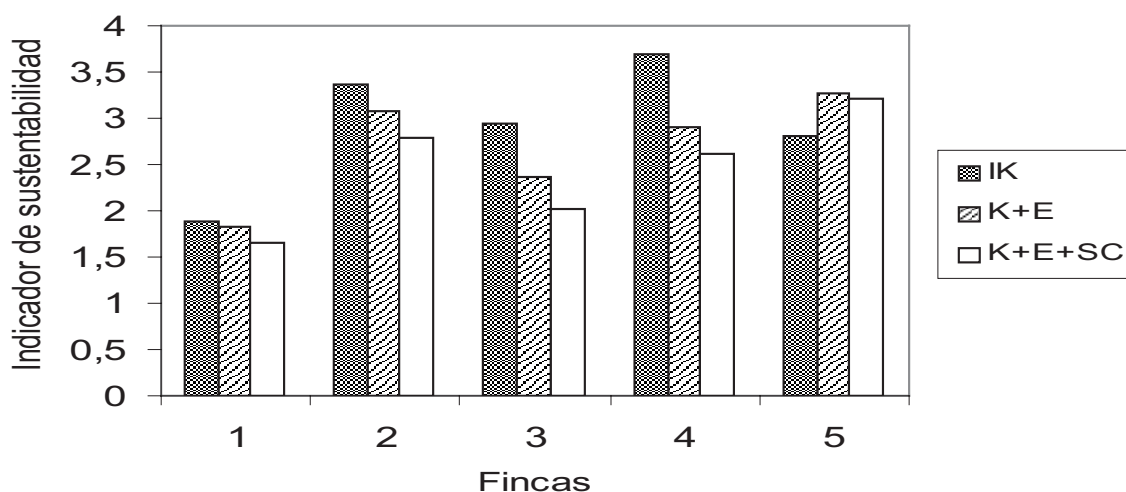


Figura 1. Valores de los indicadores en las 5 fincas analizadas, según criterio económico solamente (K), económico y ecológico (K + E) y el económico, ecológico y sociocultural (K+E+SC).

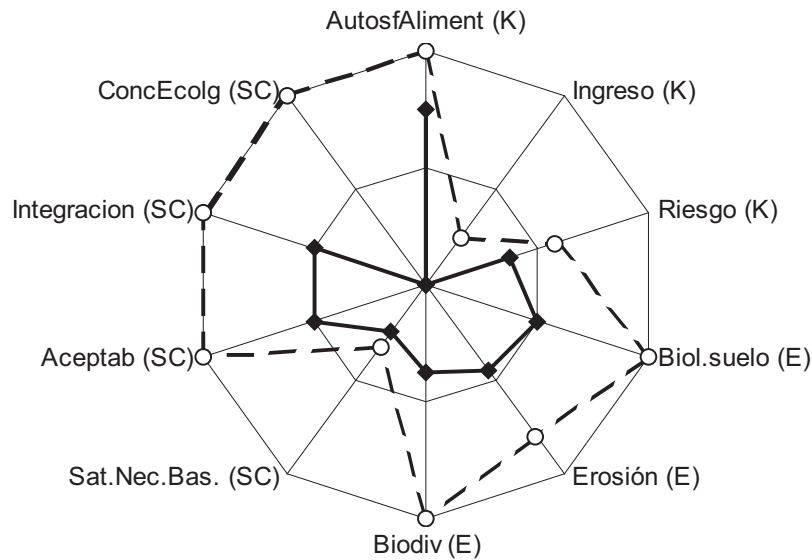


Figura 2. Representación gráfica en un diseño en tela de araña, de los indicadores de sustentabilidad en dos fincas de la provincia de Misiones, Argentina. Los límites exteriores representan el valor ideal de sustentabilidad y el intermedio el valor umbral. Línea punteada: finca 5, línea llena: finca 1. Entre paréntesis figura la dimensión de los indicadores: económicos (K), ecológicos (E) y socio-culturales (SC).

En la finca 1, tanto los objetivos ecológicos, como los socio-culturales y los económicos presentaron aspectos críticos a la sustentabilidad. La satisfacción de las necesidades básicas mostró aspectos muy críticos, aunque se logró cumplir con la seguridad alimentaria que fue el indicador de mayor valor en esta finca. Sin embargo, el logro de este objetivo sería a costa del deterioro de los recursos naturales para las generaciones futuras y con una gran inestabilidad por la falta de lazos sólidos con la comunidad. A su vez, la poca conciencia y conocimiento ecológico repercuten claramente en el deterioro de los recursos debido al efecto sobre la biodiversidad, la biología del suelo y el riesgo de erosión.

Discusión

La evaluación de la sustentabilidad es un objetivo difícil de alcanzar debido a la propia complejidad del término. El uso de indicadores, a través de un análisis multicriterio, puede resultar un instrumento válido para traducir esta complejidad en valores objetivos y claros que permitan cuantificar y comparar estos aspectos (Sarandón 2002). A pesar de que existen trabajos que han encarado este desafío, incluso en el ámbito de finca, (Gómez *et al.* 1996, Bockstaller *et al.* 1997, Lefroy *et al.* 2000, Tellarini & Caporali 2000, Van der Werf & Petit, 2002, Pacini *et al.* 2003, Sarandón *et al.* 2003) no existe un conjunto de indicadores preestablecidos que permitan su utilización en forma universal. De esta manera, el desarrollo de los indicadores debe ser realizado teniendo en cuenta las características locales de los agroecosistemas a analizar y de los objetivos del análisis. La metodología especialmente aplicada para este trabajo (Sarandón 2002), basada en un abordaje holístico (Andreoli & Tellarini 2000) se tradujo en un conjunto de indicadores que permitieron comparar diferentes fincas y evaluar el grado de sustentabilidad de las mismas.

Su empleo permitió concluir que, en general, estos sistemas productivos, de bajos insumos, cumplirían adecuadamente con los objetivos ecológicos, sociales, culturales. Una de las condiciones para considerar un sistema ecológicamente sustentable fue la conservación del capital natural, (Costanza & Daly 1992, Harte 1995). De acuerdo con el análisis de la sustentabilidad realizado, 3 de las 5 fincas cumplirían con este criterio, manteniendo la biodiversidad, la vida del suelo y evitando la erosión. Este último aspecto ha sido señalado como uno de los principales a ser considerados en condiciones agroclimáticas (abundante lluvias, suelos con alta pendiente) similares a las de estas fincas (Gómez *et al.* 1996).

Los valores de sustentabilidad obtenidos confirman la existencia de una cierta racionalidad ecológica de parte de los agricultores de bajos recursos, aspecto que ha sido señalado, entre otros, por Altieri (1995) y Toledo (1993). La estrategia de buscar un alta biodiversidad en los agroecosistemas, sobre todo en estas condiciones agroclimáticas subtropicales, coincide con la practicada en los sistemas de huertos diversificados alrededor de las casas, considerados como sustentables por Torquebiau (1992). El papel que puede jugar la agrobiodiversidad como fuente de servicios ecológicos (gratuitos) en los agroecosistemas, está siendo revalorizado actualmente, sobre todo para pequeños productores. En este sentido, el mantenimiento de niveles mínimos de biodiversidad puede ser importante, entre otros aspectos, para la regulación de plagas que, de lo contrario, deberá ser lograda a través del uso de insumos (Swift *et al.* 2004). Para agricultores de escasos recursos, como los de Misiones, no hay dudas que aquellas prácticas que aumenten o mantengan niveles elevados de biodiversidad, pueden ser un aporte positivo a la sustentabilidad.

Sin embargo, esta "sustentabilidad ecológica" alcanza

a compensar sólo parcialmente los aspectos económicos. Los sistemas de producción diversificados y ecológicamente adecuados de estos agricultores les aseguran una dieta adecuada y variada, con un uso mínimo de insumos, que satisface adecuadamente sus necesidades alimentarias. Pero no aseguran un ingreso monetario adecuado, ni la satisfacción de otras necesidades básicas, tal como lo señalaron los indicadores empleados. Por estas razones, los productores se ven obligados a cultivar tabaco. Este cultivo responde a un paquete tecnológico "cerrado" ofrecido por las empresas tabacaleras que proveen la tecnología y todos los insumos necesarios y suministran dinero y otros beneficios como obra social. La modalidad de este cultivo conlleva una alta carga de insumos externos, impactando negativamente, además, en el suelo por un exceso de laboreo. El alto uso de insumos afecta negativamente la biodiversidad (fauna y flora) y la salud de la familia, siendo ecológicamente insustentable, pero "económicamente adecuado". De acuerdo al principio de sustentabilidad fuerte (Harte 1995) adoptado en nuestro análisis, esta condición sería, por lo tanto, no sustentable.

El empleo de los indicadores permitió observar una alta interdependencia entre las diferentes dimensiones analizadas. En este sentido, la sustentabilidad ecológica de estos sistemas productivos, estuvo claramente condicionada por aspectos económicos y socioculturales. El análisis del diagrama en tela de araña mostró una estrecha asociación entre el conocimiento y la conciencia ecológica de los productores (indicador sociocultural) y la conservación de los recursos (indicador ecológico). Así, en la finca 1, los menores valores del índice ecológico se correspondieron con bajos valores de este indicador sociocultural. Esto confirma la fuerte relación que existe entre la racionalidad ecológica de los agricultores y el manejo de sus recursos en la finca. Por otra parte, reafirma la importancia de los valores culturales de los agricultores para la conservación de los recursos como la agrobiodiversidad (UNEP 1997).

Las variaciones en la clasificación de las fincas cuando estas se analizaron con diferentes criterios (económico, ecológico y sociocultural) en forma parcial, reafirma que el manejo económicamente más adecuado, no necesariamente es el más sustentable. Esto se debe a que el análisis costo-beneficio, principal instrumento de la economía neoclásica, no tiene en cuenta el deterioro o agotamiento de los recursos, ni otros costos ocultos productos del proceso productivo. De esta manera, decisiones que parecen económicamente racionales pueden ser, a su vez, ecológicamente insustentables (Rees & Wackernagel 1999). Está claro que la solución no consiste en introducir los problemas ecológicos dentro de la teoría económica, "valorando monetariamente" los bienes ambientales, sino en reconocer que la economía debe ser considerada dentro de los límites de las reglas ecológicas (Flores & Sarandón 2003), para lo cual es necesario el uso de indicadores biofísicos, como los propuestos en este trabajo.

Los resultados obtenidos en esta investigación, confirman la utilidad de emplear un enfoque sistémico y holístico, con una óptica multicriterio para abordar la multidimensión de la sustentabilidad (Mendoza & Prabhu 2000, Evia & Sarandón 2002). A través de estas metodologías es posible un análisis que tenga en cuenta el cumplimiento de varios objetivos a la vez. El resultado no es una única respuesta, sino varias posibilidades ponderadas de acuerdo a los criterios prevalecientes en la sociedad o en quienes tienen que tomar decisiones (Evia & Sarandón 2002). En este caso, el peso de los indicadores surgió por consenso dentro del grupo de trabajo, como ha sido realizado en otra oportunidad con indicadores de manejo de suelos (Sarandón et al. 2003). Esta claro que los resultados podrían haber variado si el peso otorgado a los diferentes indicadores o dimensiones de análisis hubiera sido diferente. Incluso la participación de los agricultores en esta decisión, podría haber arrojado resultados interesantes como sugieren Roming *et al.* (1996) y Lefroy *et al.* (2000). Mas allá de estas posibilidades, el desarrollo y uso de indicadores, aun con sus limitaciones, resulta una herramienta adecuada y flexible para evaluar tendencias, establecer diferencias entre fincas y detectar los puntos críticos de manejo para el logro de una agricultura sustentable.

Referencias

- Altieri MA. 1995. El estado del arte de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina. En *Agricultura y desarrollo sostenible* (Cárdenas Marín A, ed.), Madrid, pp. 153-203.
- Andreoli M, Tellarini V. 2000. Farm sustainability evaluation: methodology and practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77: 43-52.
- Astier M, López Ridaura S, Pérez Agis E, Masera OR. 2002. El Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) y su aplicación en un sistema agrícola campesino en la región Purhepecha, México. En *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable* (Sarandón SJ, ed.). Ediciones Científicas Americanas, Capítulo 21: 415-430.
- Bejarano Ávila JA. 1998. Un marco institucional para la gestión del medio ambiente y para la sostenibilidad agrícola. En *Agricultura, Medio Ambiente y Pobreza Rural en América Latina* (Reca LG, Echeverría RG, comp.). Washington: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Agrarias (IFPRI), Banco Interamericano de Desarrollo (BID). pp. 191-205, 227-228.
- Bockstaller C, Girardin P, van der Werf HMG. 1997. Use of agroecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7: 261-270.
- Costanza R, Daly HE. 1992. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*, 6: 37-46. In Harte (1995) *Ecology, sustainability and environ-*

- ment as capital. *Ecological Economics* 15: 157-164.
- Evía G, Sarandón SJ. 2002. Aplicación del método multicriterio para valorar la sustentabilidad de diferentes alternativas productivas en los humedales de la Laguna Merín, Uruguay. En *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*, (Sarandón SJ, ed.). Ediciones Científicas Americanas, Capítulo 22: 431-448.
- Flores CC, Sarandón SJ. 2003. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El análisis económico convencional y el costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía La Plata* 105 (1): 52-67.
- Gayoso J, Iroumé A. 1991. Metodología para estimar la fragilidad de terrenos forestales. *Medio Ambiente* 11(2): 13-24.
- Gómez AA, Swete Kelly DE, Syers JK, Coughlan KJ. 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. *Methods for assessing soil quality*, SSSA Special Publication 49: 401-410. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Hansen JW, Jones JW. 1996. A systems framework for characterizing farm sustainability. *Agricultural Systems* 51: 185-201.
- Harte MJ. 1995. Ecology, sustainability, and environment as capital. *Ecological Economics* 15: 157-164.
- Izac AMN, Swift MJ. 1994. On agricultural sustainability and its measurement in small-scale farming in sub-Saharan Africa. *Ecological Economics* 11: 105-125.
- Lefroy RD, Bechstedt HD, Rais M. 2000. Indicators of sustainable land management based on farmer surveys in Vietnam, Indonesia and Thailand. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 81: 137-146.
- Lewandowski I, Hardtlein M, Kaltscmitt M. 1999. Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. *Crop Science* 39: 184-193.
- López-Ridaura S, Masera O, Astier M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators* 2: 135-148.
- Mendoza G, Prabhu R. 2000. Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study. *Forest Ecology and Management* 131: 107-126
- Pacini C, Wossink A, Giesen G, Vazzana C, Huirne R. 2003. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95: 273-288.
- Rees WE, Wakernagel M. 1999. Monetary analysis: turning a blind eye on sustainability. *Ecological Economics* 29: 47-52.
- Roming DE, Jason Garlynd M, Harris RF. 1996. Farmer-based assessment of soil quality: a soil health scorecard. In *Methods for Assessing Soil Quality* (Doran JW, Jones AJ, eds.). SSSA Special Publication 49, pp. 127-158. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Sarandón SJ. 1998. The development and use of sustainability indicators: a need for organic agriculture evaluation. XII International Scientific Conference IFOAM 1998. Mar del Plata, Argentina, pp. 135.
- Sarandón SJ. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable* (Sarandón SJ, ed.). Ediciones Científicas Americanas, Capítulo 20: 393-414.
- Sarandón SJ, Marasas ME, Dipietro F, Belaus A, Muiño W, Oscares E. 2003. Evaluación de la sustentabilidad del manejo de suelos en agroecosistemas de la provincia de La Pampa, Argentina, mediante el uso de indicadores. Resúmenes (CD Rom), I Congreso Brasileiro de Agroecología, IV Seminario Internacional sobre Agroecología, V Seminario Estadual sobre Agroecología, Porto Alegre (RS), Nov 2003. EMATER/ASCAR, Resumen RN117, pp. 4.
- Sepúlveda S, Cavaría H, Castro A, Rojas P, Picado E, Bolaños D. 2002. Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible en espacios territoriales, IICA, pp. 47.
- Smyth AJ, Dumansky J. 1995. A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 401-406.
- Swift MJ, Izac AMN, van Noordwijk M. 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes: are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystem & Environment* 104: 113-134.
- Tellarini V, Caporali F. 2000. An input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 77: 111-123
- Toledo VM. 1993. La racionalidad ecológica de la producción campesina. En *Ecología, campesinado e historia* (Sevilla Guzmán E, González de Molina M, eds.). La Piqueta, Madrid, pp. 197-218.
- Torquebiau E. 1992. ¿Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 41: 189-207.
- UNEP/CDB/COP/3. 1997. The Biodiversity Agenda. Decisions from the third Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. Second Edition, Buenos Aires, Argentina, 4-15 Nov, 1996, pp. 116.
- Van der Werf HMG, Petit J. 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93: 131-145.
- Winograd M, Eade J, Farrow A. 1998. Atlas de Indicadores ambientales y de sustentabilidad para América Latina y el Caribe. Convenio CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Programa en CD.

OPTIMIZANDO EL MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS A TRAVÉS DE LA SALUD DEL SUELO

Miguel A Altieri, Clara Nicholls

Department of Environmental Science, Policy and Management, Division of Insect Biology, University of California, Berkeley, 137 Mulford Hall-3114, Berkeley, CA 94720-3114. E-mail: agroeco3@nature.berkeley.edu

Resumen

Métodos culturales de manejo de suelos tales como la fertilización afectan la susceptibilidad de plantas al ataque de insectos plaga vía alteraciones de los niveles de nutrientes en los tejidos. Investigaciones revelan que la habilidad de una planta a tolerar la incidencia de plagas o enfermedades está ligada a las condiciones óptimas del suelo, en particular las propiedades biológicas. Cultivos que crecen en suelos con un alto contenido de materia orgánica y con alta actividad biológica exhiben por lo general menor incidencia de plagas. Estas reducciones parecen atribuirse a niveles menores de nitratos libres en el follaje. Por el contrario, prácticas agrícolas como el uso excesivo de fertilizantes que crean imbalances nutricionales tienden a reducir la defensa de las plantas. Hay varios estudios comparativos que reportan menor incidencia en cultivos orgánicos que aquellos en sistemas convencionales. Entender los mecanismos claves que explican porque la fertilización orgánica parece mejorar la salud de los cultivos, es una área activa de investigación que puede conllevar a mejorar los diseños agroecológicos al permitir armonizar el manejo de suelos y el manejo de plagas.

Palabras clave: Fertilidad y salud del suelo, nutrición de cultivos, insectos plaga, manejo de plagas

Summary

Optimizing agroecological pest management through soil health

Cultural methods such as crop fertilization can affect susceptibility of plants to insect pests via altering plant tissue nutrient levels. Research shows that the ability of a crop plant to resist or tolerate insect pests and diseases is tied to optimal physical, chemical and mainly biological properties of soils. Soils with high organic matter and active soil biological activity generally exhibit good soil fertility. Crops grown in such soils exhibit lower abundance of several insect herbivores, reductions that may be attributed to a lower nitrogen content in organically farmed crops. On the other hand, farming practices, such as excessive use of inorganic fertilizers, can cause nutrient imbalances and lower pest resistance. More studies comparing pest populations on plants treated with synthetic versus organic fertilizers are needed. Understanding the underlying effects of why organic fertilization appears to improve plant health may lead us to new and better integrated pest management and integrated soil fertility management designs.

Keywords: Soil fertility, crop nutrition, pest attack, insect populations, pest management.

Introducción

Los agroecosistemas pueden ser optimizados a través del manejo de dos pilares: la manipulación del hábitat vía de la diversificación de cultivos y el mejoramiento de la fertilidad del suelo (Nicholls & Altieri 2005). Este artículo enfatiza el segundo pilar, el mejoramiento de la calidad del suelo a través del incremento de la materia orgánica y la conservación de la biodiversidad del suelo. Tradicionalmente los componentes de la biodiversidad arriba y abajo del suelo se han considerado aislados uno del otro, sin embargo, hoy en día se reconoce que están íntimamente

relacionados (Wardle *et al.* 2004). En efecto, la vegetación parece funcionar como un integrador de los componentes del agroecosistema arriba y abajo del suelo, los cuales a pesar de estar espacialmente separados, están conectados biológicamente por las plantas. Este reconocimiento de los vínculos entre la biología arriba y abajo del suelo constituye un paso clave sobre el cual se basa una estrategia innovativa de Manejo Ecológico de Plagas (MEP).

El MEP considera que el manejo del hábitat arriba y abajo del suelo, son estrategias igualmente importantes, puesto que al fomentar interacciones ecológicas positivas entre suelo y plagas, se puede diseñar una manera

robusta y sustentable para optimizar la función total del agroecosistema (Fig. 1). La integridad del agroecosistema depende de las sinergias entre la diversidad de plantas y el funcionamiento continuo de la comunidad microbiana del suelo sustentada por un suelo rico en materia orgánica (Altieri & Nicholls 1999). A pesar de los vínculos potenciales entre la fertilidad del suelo y la protección de cultivos, la evolución de los conceptos de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y Manejo Integrado de la Fertilidad de Suelos (MIFS) han procedido separadamente (Altieri & Nicholls 2003). Puesto que ya se conoce que muchas prácticas de manejo de suelo influyen en el manejo de plagas, no tiene sentido ecológico continuar con enfoques reduccionistas.

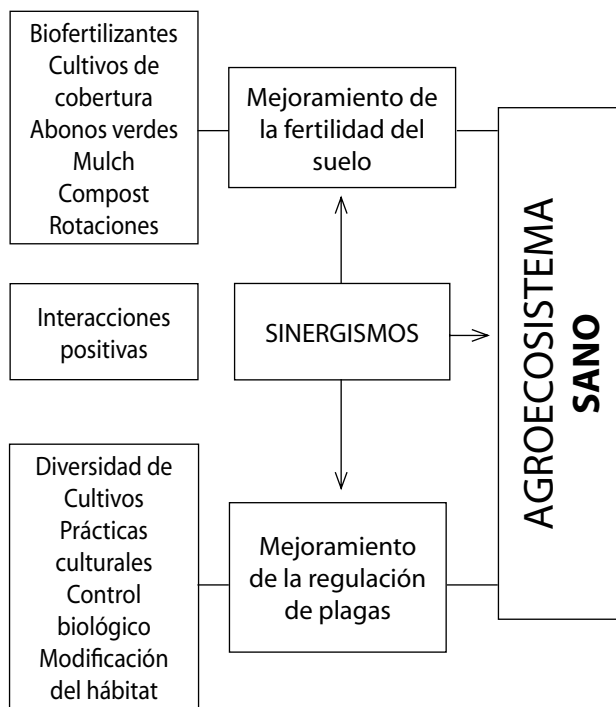


Figura 1. Sinergismos potenciales entre la fertilidad de suelos y el manejo ecológico de plagas.

Nuevas investigaciones demuestran que la habilidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de insectos plagas y enfermedades, está ligado a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo. Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección. Por otro lado, las prácticas agrícolas que causan desbalances nutricionales bajan la resistencia de las plantas a plagas (Magdoff & Van Es 2000). Además, estudios recientes han demostrado como las interacciones bióticas en el suelo pueden regular la estructura y el funcionamiento de las comunidades de plantas sobre el suelo (Wardle *et al.* 2004). Así, es obvio que los componentes de un agroecosistema abajo del suelo pueden ser manejados a través de una serie de prácticas usadas en la agricultura orgánica ejerciendo un

impacto substancial en la dinámica de plagas (Altieri & Nicholls 2003). A pesar de que la presión de plagas es menor en los sistemas orgánicos como resultado del uso de rotaciones y la conservación de la fauna benéfica dado que no usan pesticidas (Lampkin 1990), nueva evidencia sugiere que las poblaciones de plagas se pueden reducir además al mejorar la biología y la fertilidad de los suelos.

Suelos Saludables—Plantas Saludables

Una forma como el manejo de la fertilidad del suelo puede reducir directamente la susceptibilidad de las plantas a las plagas es a través de su influencia sobre la salud de las plantas (Phelan *et al.* 1995). Muchos investigadores y también agricultores han observado que las prácticas de fertilidad que incrementan y mantienen altos contenidos de materia orgánica y que incrementan los niveles de diversidad de la macro y microfauna del suelo proveen un ambiente, que a través de varios procesos, mejora la salud de la planta (McGuinness 1993). Como se discutió anteriormente, la resistencia o tolerancia de las plantas a enfermedades e insectos plagas parece estar relacionada muy cercanamente a varias propiedades del suelo.

Mucho de lo que conocemos hoy día acerca de la relación entre la nutrición de plantas y la incidencia de plagas proviene de estudios comparativas de los efectos de las prácticas de la agricultura orgánica y los métodos usados en la agricultura convencional sobre poblaciones de plagas específicas (Altieri & Nicholls 2003). Las prácticas para mejorar la fertilidad de suelos pueden impactar directamente la susceptibilidad fisiológica del cultivo a los insectos plaga ya sea al afectar la resistencia al ataque de las plantas individuales o al alterar la aceptabilidad de algunas plantas hacia ciertos herbívoros (Barker 1975, Scriber 1984). Algunos estudios han mostrado como el cambio de un manejo orgánico del suelo hacia el uso de fertilizantes químicos, ha incrementado el potencial de ciertos insectos plaga y enfermedades. Un hallazgo clave que ha contribuido a construir una base científica para un mejor entendimiento de las relaciones entre la salud de la planta y la fertilidad del suelo, ha sido el estudio realizado por científicos del USDA Beltsville Agricultural Research Center (Kumar *et al.* 2004). Estos científicos mostraron una base molecular que explica el retardo de la senescencia de las hojas y el incremento de la tolerancia a enfermedades en plantas de tomate bajo una cobertura de mulch de una leguminosa (*Vicia sp*) como sistema de cultivo alternativo, cuando se comparaba con el mismo cultivo convencional bajo una cobertura de polietileno negro. Probablemente dada la liberación de metabolitos de carbono y Nitrógeno de *Vicia* y su descomposición lenta, las plantas bajo la cobertura mostraron una expresión diferente de genes selectos, los cuales promovieron una mejor utilización y movilización del C y el N, promoviendo de esta forma una mayor defensa contra enfermedades y mejorando la longevidad del cultivo. Estos resultados confirman que en la producción de tomate

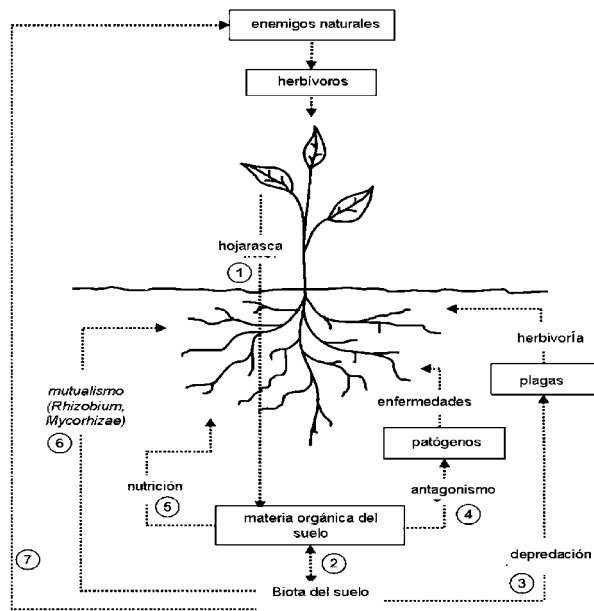


Figura 2. Vías complejas en las cuales la biodiversidad sobre el suelo interactúan en el agroecosistema: (1) residuos del cultivo incrementan el contenido de materia orgánica (SOM); (2) SOM provee el sustrato para la micro, meso y macro fauna del suelo; (3) predadores edáficos reducen las plagas del suelo; (4) SOM incrementa los antagonistas que suprimen patógenos del suelo; (5) mineralización lenta de C y N que activa genes los cuales promueven la tolerancia de cultivos a enfermedades; (6) mutualistas incrementan la fijación de N, toma de P, eficiencia del uso del agua, etc.; (7) ciertos invertebrados (*Collembola* y detritívoros) sirven de alimento alternativo a enemigos naturales en épocas de escasez de plagas.

intensivo convencional, el uso de leguminosas como cultivo de cobertura ofrece mayores ventajas como alternativa biológica a los fertilizantes comerciales, además de minimizar la erosión y la pérdida de nutrientes, mejorar la infiltración del agua, reducir la escorrentía y crear una mayor relación “natural” predador-presa.

Interacciones entre la biodiversidad arriba y abajo del suelo

Las plantas funcionan en un ambiente complejo multitrófico y nutritivo. Sin embargo, como es discutido en un artículo reciente (Van der Putten *et al.* 2001) la mayoría de los estudios multitróficos son casi exclusivamente localizados en las interacciones arriba del suelo, generalmente olvidando que los organismos abajo y arriba del suelo interactúan en redes complejas (Fig. 2). Varios estudios demuestran que la interdependencia de la dinámica de población de herbívoros arriba y abajo del suelo y de sus enemigos naturales asociados esta mediada a través de respuestas de defensa por diferentes compartimientos de las plantas (arriba y abajo del suelo). Debido a que las defensas químicas de las plantas pueden interactuar de diferentes formas contra los herbívoros y patógenos, un herbívoro de las raíces por ejemplo, puede inducir la producción de compuestos de defensa en las hojas. Pero se

argumenta también en el artículo mencionado anteriormente que las interacciones entre los compartimientos por debajo y por encima del suelo son aún más complejas, debido a los mecanismos mencionados (nutrición y defensa de las plantas) que están íntimamente relacionadas. En efecto, la producción de defensas de las plantas tanto directas como indirectas dependen de los nutrientes disponibles por las raíces. La evidencia de la existencia de estas interacciones aumenta cada vez más.

Un estudio reciente demostró que la actividad de los organismos por debajo del suelo puede afectar el fenotipo de la planta, induciendo la tolerancia de plantas a herbívoros y patógenos (Blouin *et al.* 2005). Este estudio demostró una disminución del 82 % de las plantas infectadas por nematodos cuando estaban presentes las lombrices de tierra. Aunque las lombrices de tierra no tenían un efecto directo sobre la población de nematodos, con su presencia la biomasa de raíces no fue afectada por nematodos y la esperada inhibición de la fotosíntesis no ocurrió. Esta es la primera vez que se observa como la presencia de lombrices de tierra pueden reducir la ingestación de nematodos en plantas. Aparentemente, la presencia de lombrices en la rizosfera induce cambios sistémicos en la expresión de ciertos genes de la planta, conllevando a un incremento en la actividad fotosintética y a una mayor concentración de clorofila en las hojas (Blouin *et al.* 2005).

Las comunidades arriba del suelo son afectadas directa e indirectamente por interacciones con los organismos de la red trófica del suelo (Wardle *et al.* 2004). Las actividades de alimentación de los detritívoros en la red trófica estimulan el movimiento de nutrientes, la adquisición de nutrientes por las plantas, y el funcionamiento de las plantas, y es así como indirectamente influyen sobre los insectos que se alimentan de cultivos. Estudios en arroz irrigado en Asia mostraron que la adición de materia orgánica en lotes experimentales, incremento las poblaciones de detritívoros los cuales a su vez fomentaban la abundancia de predadores generalistas arriba del suelo (Settle *et al.* 1996). Los insectos del suelo como *Collembola* son conocidos como presa alternativa para predadores como carábidos cuando las plagas son escasas (Bilde *et al.* 2000).

Por otro lado, la biología del suelo tiene un efecto directo en las plantas, cuando estas al alimentarse a través de las raíces, establecen relaciones mutualistas o antagonísticas con plantas hospederas (ej. micorrizas). Estas interacciones directas con plantas influyen no sólo en el comportamiento de las plantas hospederas, sino también en el de los herbívoros y sus predadores potenciales. Vestergard *et al.* (2004) encontraron que las interacciones entre áfidos y los organismos de la rizosfera estaban influenciadas por el desarrollo de la planta y el estatus de los nutrientes en el suelo. Este es uno de los pocos estudios agrícolas que por primera vez reporta que la biota arriba y abajo del suelo es capaz de influenciarse mutuamente con la planta como mediador.

Fertilidad de suelos y resistencia de las plantas a los insectos plaga

La resistencia de plantas a insectos varía con la edad o el estado de crecimiento de la planta (Slansky 1990), sugiriendo que la resistencia esta ligada directamente a la fisiología de la planta. Por lo tanto cualquier factor que afecte la fisiología de la planta (Ej. fertilización) puede potencialmente cambiar la resistencia a insectos plaga. Se ha demostrado que la fertilización afecta las tres categorías de resistencia propuestas por Painter (1951): preferencia, antibiosis y tolerancia. Además, respuestas morfológicas obvias de los cultivos a los fertilizantes, tales como cambios en las tasas de crecimiento, madurez acelerada o retardada, tamaño de algunas partes de la planta y dureza o debilidad de la cutícula, pueden también influir indirectamente en el éxito de los insectos plagas para utilizar las plantas hospederas. Por ejemplo, Adkisson (1958) reportó aproximadamente tres veces más larvas del curculiónido (*Anthonomus grandis*) en algodón que recibió dosis altas de fertilizantes comparados con sistemas sin fertilización. Klostermeyer (1950) observó que la fertilización nitrogenada incremento el grosor de la mazorca en maíz dulce, lo cual redujo las infestaciones del gusano del maíz (*Heliothis zea*). Hagen & Anderson (1967) observaron que la deficiencia de Zn redujo la pubescencia en las hojas del maíz, lo cual permitió un incremento de la alimentación del crisomélido (*Diabrotica virgifera*).

Los efectos de las prácticas de fertilización sobre la resistencia de plantas al ataque de insectos pueden estar mediados por cambios en los contenidos nutricionales de los cultivos. Aplicando cantidades equivalentes de nitrógeno (100 y 200 mg/maceta), Baker (1975) encontró que la concentración de nitratos-N en las hojas de espinaca fue mayor cuando las plantas recibían nitrato de amonio que las plantas tratadas con cinco diferentes tipos de fertilizantes orgánicos. En un estudio comparativo de fincas orgánicas y convencionales en el medio oeste de los Estados Unidos, Lockeretz *et al.* (1981) encontraron que el maíz orgánico tenía niveles más bajos de todos los aminoácidos (excepto metionina) que el maíz de fincas convencionales. Eggert & Kahrmann (1984) también demostraron que frijoles de fincas convencionales presentaban más proteínas que los de fincas orgánicas. Consistentemente se encontró que los frijoles convencionales exhibían altos niveles de N en el tejido del peciolo. Los niveles de potasio y fósforo, sin embargo, eran más altos en los peciolos de los frijoles orgánicos que en los convencionales. En un estudio comparativo de largo plazo de los efectos de la fertilización orgánica y sintética en el contenido nutricional de cuatro hortalizas (espinaca, papa zanahoria y savoy), Schuphan (1974) encontró que comparado con cultivos convencionales las hortalizas orgánicas consistentemente contenían niveles bajos de nitratos y altos niveles de potasio, fósforo y hierro.

La investigación demuestra que la fertilidad del suelo puede influir en la habilidad de un cultivo para con-

trarrestar el ataque de plagas usando diferentes vías. Aunque algunos estudios parecen indicar ausencia de respuesta por insectos picadores o masticadores a la aplicación de fertilizantes (Jansson & Smilowitz 1985), otros estudios (Meyer 2000) sugieren que la disponibilidad de nutrientes en el suelo no sólo afecta la cantidad de daño que las plantas reciben de los herbívoros, sino que también la habilidad de las plantas para recuperarse de la defoliación. El estudio de Meyer reportó los efectos de la fertilidad de suelo sobre el grado de defoliación así como también la compensación de las plantas de *Brassica nigra* como respuesta al daño causado por las larvas de *Pieris rapae* (Meyer 2000). En este estudio, el porcentaje de defoliación fue dos veces mayor en plantas en suelos con baja fertilidad que con alta, además las plantas bajo altos niveles de fertilidad perdieron un área superior de hojas. Tanto a niveles altos como bajos de fertilidad, el número total de semillas y el promedio de producción de semillas en plantas dañadas fue equivalente a aquellas que no presentaron daño.

Efectos indirectos del nitrógeno del suelo en el daño causado por artrópodos

Las prácticas de fertilización pueden tener efectos indirectos en la resistencia de plantas a los insectos plaga, al cambiar la composición de nutrientes en el cultivo. El nitrógeno total (N) ha sido considerado un factor nutricional crítico que media la abundancia y el comportamiento de los insectos (Mattson 1980, Scriber 1984, Slansky & Rodríguez 1987). La mayoría de los estudios reportan incrementos dramáticos en el número de áfidos y ácaros en respuesta al incremento de las tasas de fertilización nitrogenada. De acuerdo con van Emden (1966) el incremento en las tasas de fecundidad y desarrollo del áfido verde del durazno *Myzus persicae*, estaba altamente correlacionado con el incremento en los niveles de nitrógeno soluble en los tejidos de la hoja. Varios otros autores también han indicado el incremento de las poblaciones de áfidos y ácaros con la fertilización nitrogenada (Luna 1988). Los insectos herbívoros asociados a cultivos del género *Brassica* exhiben un incremento en sus poblaciones como respuesta a los incrementos en los niveles de nitrógeno en el suelo (Letourneau 1988). En dos años de estudio, Brodbeck *et al.* (2001) encontraron que las poblaciones de thrips *Frankliniella occidentalis* fueron significativamente altas en tomates que recibieron altas tasas de fertilización nitrogenada. Otras poblaciones de insectos que exhiben los mismos patrones de incremento con la fertilización nitrogenada incluyen: *Spodoptera frugiperda* en maíz, *Helicoverpa (=Heliothis) zea* en algodón, *Ostrinia nubilalis* en maíz, *Pseudococcus comstocki* en manzano, *Psylla pyricola* en pera (Luna 1988).

Como las plantas son un recurso alimenticio para los insectos herbívoros, un incremento en el contenido de nutrientes de la planta puede incrementar su aceptabilidad como recurso alimenticio para las poblaciones de

plagas. Variaciones en la respuesta de los herbívoros a nutrimentos puede estar explicado por diferencias en el comportamiento de alimentación de los herbívoros (Pimentel & Warneke 1980). Por ejemplo, con el incremento de las concentraciones de nitrógeno en plantas de *Larrea tridentale*, se encontró un incremento de los insectos chupadores, sin embargo el número de insectos masticadores decreció. Es posible que con altos niveles de fertilización nitrogenada, la cantidad de nutrientes en la planta se incrementa, así como también la cantidad de compuestos secundarios que pueden selectivamente afectar a los diferentes herbívoros (Mattson 1980).

Revisando 50 años de investigación que relaciona la nutrición de cultivos con el ataque de insectos, Scriber (1984) encontró 135 estudios que mostraban un incremento en el daño y/o el crecimiento poblacional de insectos masticadores de hoja o ácaros en sistemas de cultivos fertilizados con nitrógeno, y menos de 50 estudios en los cuales el daño de herbívoros se redujo. Estos estudios sugieren una hipótesis con implicaciones para el patrón de uso de fertilizantes en agricultura: altas dosis de nitrógeno puede resultar en altos niveles de daño por herbívoros en los cultivos. Como corolario, podría esperarse que cultivos bajo fertilización orgánica serían menos propensos a los insectos plagas y enfermedades dada las menores concentraciones de nitrógeno en el tejido de estas plantas. Sin embargo, Letourneau et al (1996) pregunta si esta hipótesis "nitrógeno-daño" basada en la revisión de Scriber, puede ser extrapolada como para dar una advertencia general acerca de la fertilización asociada al ataque de insectos plaga en los agroecosistemas. Letourneau revisó 100 estudios y encontró que dos tercios (67 de 100) de los estudios mostraron un incremento en el desarrollo, supervivencia, tasa reproductiva, densidades de población o niveles de daño de las plagas en plantas como respuesta al incremento del fertilizante nitrogenado. El tercio restante de los estudios de artrópodos mostró una disminución en el daño con la fertilización nitrogenada o no mostró un cambio significativo. La autora también notó que los diseños experimentales pudieron afectar el tipo de respuestas observadas.

Encuestas a agricultores indígenas en Patzun, Guatemala, revelaron que ellos no reconocieron los insectos herbívoros como un problema en sus milpas de maíz intercalado con frijol, habas (*Vicia fava*) y/o calabaza (*Cucurbita maxima*, *C. pepo*) (Morales et al. 2001). Los agricultores atribuyeron esta ausencia de plagas a las medidas preventivas incorporadas dentro de las prácticas agrícolas, incluyendo las técnicas de manejo orgánico del suelo.

Los agricultores de Patzun tradicionalmente mezclan las cenizas, los desechos de la cocina, los residuos de cosecha, las malezas, y el estiércol para producir compost. Sin embargo, desde 1960 en adelante, los fertilizantes sintéticos fueron introducidos en la región y fueron rápidamente adoptados en el área. Hoy día, la mayoría de los agricultores han reemplazado los fertilizantes orgánicos con urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), a pesar de que algunos reconocen

las consecuencias negativas del cambio y han expresado un incremento de las plagas en sus milpas desde la introducción de los fertilizantes sintéticos.

En este estudio en Guatemala, Morales et al. (2001) también encontraron que los campos tratados con fertilizantes orgánicos (aplicados por dos años) presentaban menos áfidos (*Rhopalosiphum maidis*) que el maíz tratado con fertilizantes sintéticos. Esta diferencia fue atribuida a una alta concentración de nitrógeno foliar en los campos de maíz con fertilización sintética, aunque la población de *Spodoptera frugiperda* mostró una correlación negativa débil con el incremento en los niveles de nitrógeno.

Dinámica de los insectos herbívoros en sistemas fertilizados orgánicamente

La menor abundancia de varios insectos herbívoros en sistemas manejados con bajos insumos ha sido particularmente atribuida al bajo contenido de nitrógeno de las plantas bajo manejo orgánico (Lampkin 1990). Además, los métodos agrícolas que utilizan fertilización orgánica del suelo promueven la conservación de especies de artrópodos de todos los grupos funcionales, e incrementan la abundancia de enemigos naturales comparado con las prácticas convencionales (Moreby et al. 1994; Basedow 1995, Drinkwater et al. 1995, Pfiffner & Niggli 1996, Berry et al. 2002, Hole et al. 2005, Letourneau et al. 2001, Mader et al. 2002). Esto sugiere que la reducción de las poblaciones de plagas en sistemas orgánicos es una consecuencia tanto de los cambios nutricionales inducidos en el cultivo por la fertilización orgánica, como también el incremento de los controles naturales de plagas. Cualquiera que sea la causa, existen muchísimos ejemplos en los cuales bajas poblaciones de insectos herbívoros han sido documentados en sistemas de bajos insumos, con una variedad de mecanismos posibles propuestos.

En Japón, la densidad del cicadélido *Sogatella furcifera* en campos de arroz fue significativamente menor, y la tasa reproductiva de las hembras adultas y la tasa de supervivencia de los estados inmaduros fue generalmente menor en sistemas orgánicos que en sistemas convencionales. Consecuentemente la densidad de ninfas y adultos del cicadélido de las generaciones siguientes era menor en los campos de arroz orgánico (Kajimura 1995). En Inglaterra, sistemas de trigo convencional presentaron altas infestaciones del áfido *Metopolophium dirhodum* comparado con trigo orgánico. Los sistemas de trigo fertilizados convencionalmente también presentaron altos niveles de aminoácidos libres en las hojas durante junio, lo cual fue atribuido a la aplicación de nitrógeno temprano en la estación (Abril). Sin embargo, la diferencia en las infestaciones de áfidos entre los dos tipos de sistemas fue atribuido a la respuesta de los áfidos a las proporciones relativas de ciertas sustancias no proteicas versus proteicas presentes en las hojas en el momento de la colonización de áfidos (Kowalski & Visser 1979). Los autores concluyeron que la fertilización química tornó al trigo más palata-

ble que su contraparte cultivado orgánicamente, por lo que se presentaban altos niveles de ingestación.

En experimentos bajo invernadero comparando maíz cultivado en suelos orgánicos versus maíz cultivado en suelo fertilizado químicamente, se observó que las hembras del barrenador del tallo del maíz *Ostrinia nubilalis* cuando se les liberaba en el invernadero para depositar sus huevos, ellas colocaban significativamente más huevos en las plantas fertilizadas químicamente que en aquellas en suelo orgánico (Phelan *et al.* 1995). Pero esta variación significativa en la postura de huevos entre los tratamientos fertilizados química y orgánicamente se manifestó solamente cuando el maíz crecía en potes con suelos colectados de fincas manejadas convencionalmente. En contraste, la postura de huevos fue uniformemente baja en plantas que crecían en potes con suelos colectados de fincas manejadas orgánicamente. Los resultados obtenidos en las fincas mostraron que a varianza en la postura de huevos fue aproximadamente 18 veces mayor entre las plantas bajo suelo manejado convencionalmente que entre las plantas bajo un régimen orgánico. Los autores sugieren que esta diferencia es evidencia de una característica biológica amortiguante que se manifiesta más comúnmente en suelos manejados orgánicamente.

Altieri *et al.* (1998) condujeron una serie de experimentos comparativos durante varias estaciones de crecimiento entre 1989-1996 en los cuales el cultivo de brócoli fue sujeto a varios regímenes de fertilización (convencional versus orgánica). El objetivo fue observar los efectos de diferentes fuentes de nitrógeno en la abundancia de las plagas claves: *Brevicoryne brassicae* y *Phyllotreta cruciferae*. Los sistemas de monocultivo fertilizados convencionalmente desarrollaron mayores infestaciones de *Phyllotreta cruciferae* y del áfido de las coles que los sistemas de brócoli fertilizados orgánicamente. La reducción en las infestaciones de áfidos y de *Phyllotreta cruciferae* en

los sistemas fertilizados orgánicamente fue atribuido a los bajos niveles de nitrógeno libre en el follaje de estas plantas. Aplicaciones de nitrógeno químico a plantas individuales de brócoli seleccionadas al azar en un campo orgánico incrementaron las poblaciones de áfidos en estas plantas pero no en las plantas vecinas que habían sido fertilizadas orgánicamente (Fig. 3). El hecho de que estos insectos sean capaces de discriminar unas pocas plantas fertilizadas químicamente en un campo orgánico apoyan la idea de que la preferencia de los insectos plaga puede ser modificada por las alteraciones en el tipo y cantidad de fertilizante usado.

Como contraste, un estudio comparando la respuesta de las plagas de *Brassica* a la fertilización orgánica versus la fertilización sintética, se encontró altas poblaciones de *Phyllotreta sp* en sistemas de *Brassica oleracea* fertilizados con compost temprano en la estación comparados con sistemas con fertilización mineral o sin fertilización (Cullinery & Pimentel 1986). Sin embargo, tarde en la estación, en los mismos lotes, los niveles poblacionales de *Phyllotreta sp.*, áfidos y lepidópteros fue menor en los lotes orgánicos. Esto sugiere que el efecto del tipo de fertilización varía con el estado de crecimiento de la planta y que el fertilizante orgánico no necesariamente disminuye las poblaciones de plagas a través de toda la estación. Por ejemplo, en una evaluación de productores de tomate en California, a pesar de las diferencias pronunciadas en la calidad de la planta determinada por contenidos diferenciales de nitrógeno en las hojas y el tallo, Letourneau *et al.* (1996) no encontraron relación entre altos niveles de concentración de nitrógeno en los tejidos del tomate y altos niveles de daño en el momento de la cosecha.

Conclusiones

El manejo de la fertilidad del suelo puede influenciar la calidad de las plantas, la cual a su vez, puede afectar la abundancia de insectos plaga y los niveles subsecuentes de daño por herbívoros. La aplicación de enmiendas minerales en cultivos puede influir la oviposición, tasas de crecimiento, supervivencia y reproducción de insectos que usan estas plantas como hospederas. Aunque se requiere de más investigación, las evidencias preliminares sugieren que las prácticas de fertilización pueden afectar la resistencia relativa de los cultivos agrícolas a los insectos plaga. El incremento de los niveles de nitrógeno soluble en el tejido de plantas puede reducir la resistencia a las plagas, aunque esto puede que no sea un fenómeno universal (Phelan *et al.* 1995).

Los fertilizantes químicos pueden influenciar dramáticamente el balance de elementos nutricionales en las plantas, y es probable que su uso excesivo incremente los desbalances nutricionales, lo cual a su vez reduce la resistencia a insectos plaga. En contraste, las prácticas de fertilización orgánica promueven el incremento de la materia orgánica del suelo y la actividad microbiana y una liberación gradual de nutrientes a la planta, teóri-

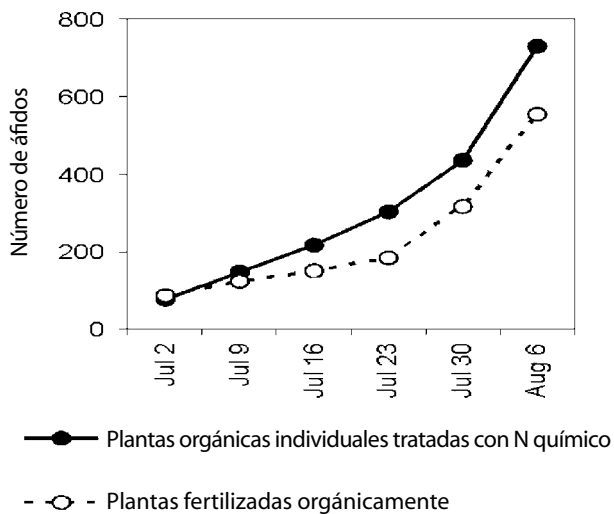


Figura 3. Respuesta de la población de áfidos al tratamiento de plantas individuales de brócoli con fertilizante nitrogenado en un campo manejado orgánicamente en Albany, California (Altieri, datos inéditos).

camente permitiendo a las plantas derivar una nutrición más balanceada. Así, mientras que la cantidad de nitrógeno inmediatamente disponible para el cultivo pueda ser menor bajo fertilización orgánica, el estado total de la nutrición del cultivo puede que sea mejor. Las prácticas de fertilización orgánica pueden también proporcionar microelementos ocasionalmente faltantes en fincas convencionales que dependen principalmente de fuentes artificiales de N, P y K. Además de concentraciones de los nutrientes, una fertilización óptima que provee un balance de elementos, puede estimular la resistencia al ataque de insectos (Luna 1988). Las fuentes orgánicas de nitrógeno pueden permitir una mayor tolerancia al daño vegetativo porque la liberación del nitrógeno es más lenta, a través de varios años.

Phelan *et al.* (1995) enfatizan la necesidad de considerar otros mecanismos cuando se examina los vínculos entre manejo de la fertilidad y la susceptibilidad de los cultivos a los insectos plaga. Sus estudios demuestran que la preferencia de oviposición de los insectos defoliadores puede estar mediada por las diferencias en el manejo de la fertilidad del suelo. Por lo tanto, los bajos niveles de plaga reportados extensamente en los sistemas orgánicos pueden en parte deberse a la resistencia de las plantas a las plagas mediada por diferencias bioquímicas o de nutrientes minerales en los cultivos bajo tales prácticas de manejo. En efecto, estos resultados proveen una evidencia interesante para apoyar la idea de que el manejo prolongado de la materia orgánica del suelo puede inducir una mayor resistencia de las plantas a los insectos plaga. Esta visión es corroborada por investigaciones recientes sobre la relación entre los componentes del ecosistema arriba y abajo del suelo que sugieren que la actividad biológica del suelo es probablemente más importante que lo que hasta ahora se ha reconocido en determinar la respuesta de plantas individuales al stress, como la presión de plagas (Blouin *et al.* 2005), y que esta respuesta al stress esta mediada por una serie de interacciones descritas en la Fig. 2. Estos hallazgos están mejorando nuestro entendimiento del rol de la biodiversidad en la agricultura, y las relaciones ecológicas entre componentes biológicos arriba y abajo del suelo. Tal entendimiento constituye un paso clave hacia la construcción de una estrategia innovativa de manejo ecológico de plagas que combine la diversificación de cultivos y el mejoramiento orgánico del suelo.

Referencias

- Adkisson PL. 1958. The influence of fertilizer applications on population of *Heliothis zea* and certain insect predators. *Journal of Economic Entomology* 51: 757-759.
- Altieri MA, Nicholls CI. 1999. Biodiversity, ecosystem function and insect pest management in agricultural systems. In *Biodiversity in Agroecosystems*. (Collins WW, Qualset CO, eds.) CRC Press, Boca Raton, pp. 69-84.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2003. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 72: 203.
- Altieri MA, Schmidt LL, Montalba R. 1998. Assessing the effects of agroecological soil management practices on broccoli insect pest populations. *Biodynamics* 23-26.
- Barker A. 1975. Organic vs. inorganic nutrition and horticultural crop quality. *HortScience* 12-15.
- Basedow T. 1995. Insect pests: their antagonists and diversity of the arthropod fauna in fields of farms managed at different intensities over a long term - a comparative survey. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* 10: 565-572.
- Berry NA, Wratten SD, McErlach A, Frampton C. 1996. Abundance and diversity of beneficial arthropods in conventional and organic carrot crops in New Zealand. *New Zealand Journal of Crops and Horticultural Sciences* 24: 307-313.
- Bilde T, Axelsen JA, Toft S. 2000. The value of Collembola from agricultural soils as food for a generalist predator. *Journal of Applied Ecology* 37: 672-683.
- Blouin M, Zuily-Fodil Y, Pham-Thi A-T, Laffray D, Reversat G, Pando A, Tondoh J, Lavelle P. 2005. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. 8: 202-208.
- Brodbeck B, Stavisky J, Funderburk J, Andersen P, Olson S. 2001. Flower nitrogen status and populations of *Frankliniella occidentalis* feeding on *Lycopersicon esculentum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 99: 165-172.
- Culliney T, Pimentel D. 1986. Ecological effects of organic agricultural practices in insect populations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 253-256.
- Drinkwater LE, Letourneau DK, Workneh F, van Bruggen AHC. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agro-ecosystems in California. *Ecological Applications* 5: 1098-1112.
- Eggert FP, Kahrmann CL. 1984. Responses of three vegetable crops to organic and inorganic nutrient sources. In *Organic farming: current technology and its role in sustainable agriculture*. Pub. No. 46. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Hagen AF, Anderson FN. 1967. Nutrient imbalance and leaf pubescence in corn as factors influencing leaf injury by the adult western corn rootworm. *Journal of Economic Entomology* 60: 1071-77.
- Hole DG, Perkins AJ, Wilson JD, Alexander IH, Grice PV, Evans AD. 2005. Does organic farming benefit biodiversity?. *Biological Conservation* 122, 113-130.
- Jansson RK, Smilowitz Z. 1985. Influence of nitrogen on population parameters of potato insects: Abundance, development and damage of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Coleop-

- tera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 14: 500-506.
- Kajimura T. 1995. Effect of organic rice farming on planthoppers: Reproduction of white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae). *Research Population Ecology* 37: 219-224.
- Klostermeyer EC. 1950. Effect of soil fertility on corn earworm damage. *Journal of Economic Entomology* 43: 427-429.
- Kowalski R, Visser PE. 1979. Nitrogen in a crop-pest interaction: cereal aphids. In *Nitrogen as an ecological parameter*. (Lee JA, ed.). Oxford, UK: Blackwell Scientific Pub., pp. 67-74.
- Kumar V, Mills DJ, Anderson JD, Mattoo AK. 2004. An alternative agriculture system is defined by a distinct expression profile of select gene transcripts and proteins. *Protocol Nacional Academy Sciece* 101, 10535-10540.
- Lampkin N. 1990. *Organic Farming*. Ipswich, UK: Farming Press Books.
- Letourneau DK. 1988. In *Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems*. Sixth Int. Sci. Conference of IFOAM Santa Cruz, CA, pp. 581-587.
- Letourneau DK, Drinkwater LE, Shennon C. 1996. Effects of soil management on crop nitrogen and insect damage in organic versus conventional tomato fields. *Agriculture Ecosystem Environment* 57: 174-187.
- Lockeretz W, Shearer G, Kohl DH. 1981. Organic farming in the corn belt. *Science* 211: 540-547.
- Luna JM. 1988. In *Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems*. Proc. Sixth. Int. Sci. Conference of IFOAM Santa Cruz, CA, pp. 589-600.
- Magdoff F, van Es H. 2000. *Building soils for better crops*. SARE, Washington DC.
- Mattson WJ Jr. 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 119-161.
- McGuinness H. 1993. *Living soils: sustainable alternatives to chemical fertilizers for developing countries*. Consumers Policy Institute, New York.
- Meyer GA. 2000. Interactive effects of soil fertility and herbivory on *Brassica nigra*. *Oikos* 22: 433-441.
- Morales H, Perfecto I, Ferguson B. 2001. Traditional fertilization and its effect on corn insect populations in the Guatemalan highlands. *Agriculture. Ecosystem. Environment* 84: 145-155.
- Moreby SJ, Aebischer NJ, Southway SE, Sotherton NW. 1994. A comparison of flora and arthropod fauna of organically and conventionally grown winter wheat in southern England. *Annals of Applied Biology* 12: 13-27.
- Nicholls CI, Altieri MA. 2005. Designing and implementing a habitat management strategy to enhance biological pest control in agroecosystems. *Biodynamics* 251: 26-36.
- Painter RH. 1951. *Insect resistance in crop plants*. University of Kansas Press, Lawrence, KS.
- Pfiffner L, Niggli U. 1996. Effects of biodynamic, organic and conventional farming on ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and other epigeic arthropods in winter wheat. *Biological Agriculture and Horticulture* 12: 353-364.
- Phelan PL, Mason JF, Stinner BR. 1995. Soil fertility management and host preference by European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, on *Zea mays*: a comparison of organic and conventional chemical farming. *Agriculture. Ecosystems. and Environment* 56: 1-8.
- Pimentel D, Warneke A. 1989. Ecological effects of manure, sewage sludge and other organic wastes on arthropod populations. *Agricultural Zoology Reviews* 3: 1-30.
- Schuphan W. 1974. Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments: results of 12 years' experiments with vegetables (1960-1972). *Qual. Plant Plant Foods Human Nutrition* 23: 333-358.
- Scriber JM. 1984. Nitrogen nutrition of plants and insect invasion. In *Nitrogen in crop production*. (Hauck RD, ed.) American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Settle WH, Ariawan H, Astuti ET, Cahyana W, Hakim AL, Hindayana D, Lestari AS. 1996. Managing Tropical Rice Pests Through Conservation of Generalist Natural Enemies and Alternative Prey. *Ecology* 77: 1975-1988.
- Slansky F. 1990. Insect nutritional ecology as a basis for studying host plant resistance. *Florida Entomology* 73: 354-378.
- Slansky F, Rodriguez JG. 1987. *Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates*. Wiley, New York.
- Van der Putten WH, Vet LEM, Harvey JA, Wackers FL. 2001. Linking above- and belowground multitrophic interactions of plants, herbivores, pathogens, and their antagonists. *Trends in Ecology & Evolution* 16: 547-554.
- Van Emden HF. 1966. Studies on the relations of insect and host plant. III. A comparison of the reproduction of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) on brussels sprout plants supplied with different rates of nitrogen and potassium. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 9: 444-460.
- Vestergard M, Bjornlund L, Christensen S. 2004. Aphid effects on rhizosphere microorganisms and microfauna depend more on barley growth phase than on soil fertilization. *Oecologia* 141, 84.
- Wardle DA, Bardgett RD, Klironomos JN, Setälä H, van der Putten WH, Wall DH. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304: 1629-33.

BASES AGROECOLÓGICAS PARA DISEÑAR E IMPLEMENTAR UNA ESTRATEGIA DE MANEJO DE HÁBITAT PARA CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS

Clara Nicholls

Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley, 137 Mulford Hall-3114, Berkeley, CA 94720-3114. E-mail: nicholls@berkeley.edu

Resumen

Desde el inicio de la modernización agrícola, los agricultores e investigadores se han enfrentado al dilema que emerge de la homogenización de los agroecosistemas: el incremento de plagas y enfermedades que pueden alcanzar niveles devastadores en monocultivos uniformes y de larga escala.: una mayor vulnerabilidad. Este artículo explora estrategias prácticas para romper el monocultivo reduciendo así su vulnerabilidad ecológica al nivel del campo y del paisaje rural. Una de las más obvias ventajas de la diversificación es la mejora de las oportunidades ambientales para la entomofauna benéfica y así incrementar el control biológico. El artículo explica maneras en que la biodiversidad puede contribuir al diseño de agroecosistemas resilientes a plagas al crear una infraestructura ecológica apropiada dentro y fuera del campo cultivado. Se revisan estudios que informan sobre los efectos de policultivos, cultivos de cobertura, corredores, etc, sobre plagas y sus enemigos naturales, poniendo atención a los mecanismos que explican la regulación biótica en agroecosistemas diversificados. Esta reflexión es importante si se desea utilizar la manipulación del hábitat como la base del manejo ecológico de plagas.

Palabras clave: Monocultivo, insectos plaga, enemigos naturales, control biológico, biodiversidad.

Summary

An agroecological basis to design and implement a habitat management strategy to enhance biological control in agroecosystems

Since the onset of agricultural modernization, farmers and researchers have been faced with a main ecological dilemma arising from the homogenization of agricultural systems: an increased vulnerability of crops to insect pests and diseases, which can be devastating when infesting uniform crop, large scale monocultures. This paper explores practical steps to break the monoculture and thus reduce their ecological vulnerability, by restoring agricultural biodiversity at the field and landscape level. The most obvious advantage of diversification is enhanced environmental opportunities, thus enhancing biological pest control. The paper focuses on ways in which biodiversity can contribute to the design of pest-stable agroecosystems by creating an appropriate ecological infrastructure within and around cropping systems. Selected studies reporting the effects of intercropping, cover cropping, weed management, agroforestry and manipulation of crop-field border vegetation on insect pests and associated natural enemies, paying special attention to understanding the mechanisms underlying pest reduction in diversified agroecosystems. This reflection is fundamental if habitat management through vegetation diversification is to be used effectively as the basis of Ecologically Based Pest Management (EBPM) tactics in sustainable agriculture.

KeyWords: Monoculture, insect populations, natural enemies, pest management, biodiversity.

Introducción

Es ampliamente aceptado que ciertos tipos de diversidad en los agroecosistemas confiere una estabilidad a largo plazo de las poblaciones de insectos presentes,

probablemente porque en agroecosistemas complejos existe una variedad de parásitos y depredadores disponibles para suprimir el crecimiento potencial de las poblaciones de especies plagas (Altieri & Nicholls 2004). La diversificación de agroecosistemas resulta general-

mente en el incremento de oportunidades ambientales para los enemigos naturales, y consecuentemente en el mejoramiento del control biológico de plagas. La amplia variedad de arreglos vegetacionales disponibles en forma de policultivos, sistemas diversificados de cultivo-malezas, cultivos de cobertura, etc., conservan enemigos naturales al asegurarles una serie de requisitos ecológicos como acceso a hospederos alternos, recursos alimenticios como polen y néctar, hábitats para hibernación y microclimas apropiados (Altieri 1994, Altieri & Nicholls 2004). Algunos factores relacionados con la regulación de plagas en agroecosistemas diversificados incluyen: el incremento de la población de parasitoides y depredadores dada una mayor disponibilidad de alimento alternativo y hábitat, la disminución en la colonización y reproducción de las plagas, la inhibición de la alimentación mediante repelentes químicos de plantas no atractivas a las plagas, la prevención del movimiento y aumento de emigración de plagas, y la óptima sincronización entre enemigos naturales y plagas.

En agroecosistemas diversificados, la evidencia demuestra que en la medida que se incrementa la diversidad vegetal, la reducción de plagas alcanza un nivel óptimo dependiendo del número de especies vegetales y la combinación de ciertas plantas claves. Aparentemente, mientras más diverso es el agroecosistema y mientras menos disturbada es la diversidad, los nexos tróficos aumentan desarrollándose sinergismos que promueven la estabilidad poblacional insectil. Sin embargo, es claro que

esta estabilidad depende no sólo de la diversidad trófica sino más bien de la respuesta dependiente de la densidad que tengan los niveles tróficos más altos (Southwood & Way 1970). En otras palabras, la estabilidad depende de la precisión de la respuesta de cada nivel trófico al incremento poblacional en un nivel inferior. Lo que es clave para alcanzar regulación biótica, es la diversidad selectiva y su función en el agroecosistema y no una colección de especies al azar (Dempster & Coaker 1974). Es claro que la composición de especies es más importante que el número de especies "per se" y que hay ciertos ensamblajes de plantas que ejercen papeles funcionales claves mientras que otros grupos de plantas no. El desafío está en identificar los ensamblajes correctos de especies que, a través de sus sinergias, proveerán servicios ecológicos claves tal como reciclaje de nutrientes, control biológico de plagas y conservación de suelo y agua. La explotación de estas sinergias en situaciones reales requiere del diseño y manejo de los agroecosistemas basado en el entendimiento de las múltiples interacciones entre suelos, plantas, artrópodos y microorganismos. La idea es restaurar los mecanismos de regulación natural adicionando biodiversidad selectiva dentro y alrededor de los agroecosistemas.

La naturaleza y función de la biodiversidad en agroecosistemas

La biodiversidad se refiere a todas las especies de plantas, animales y microorganismos que existen e in-

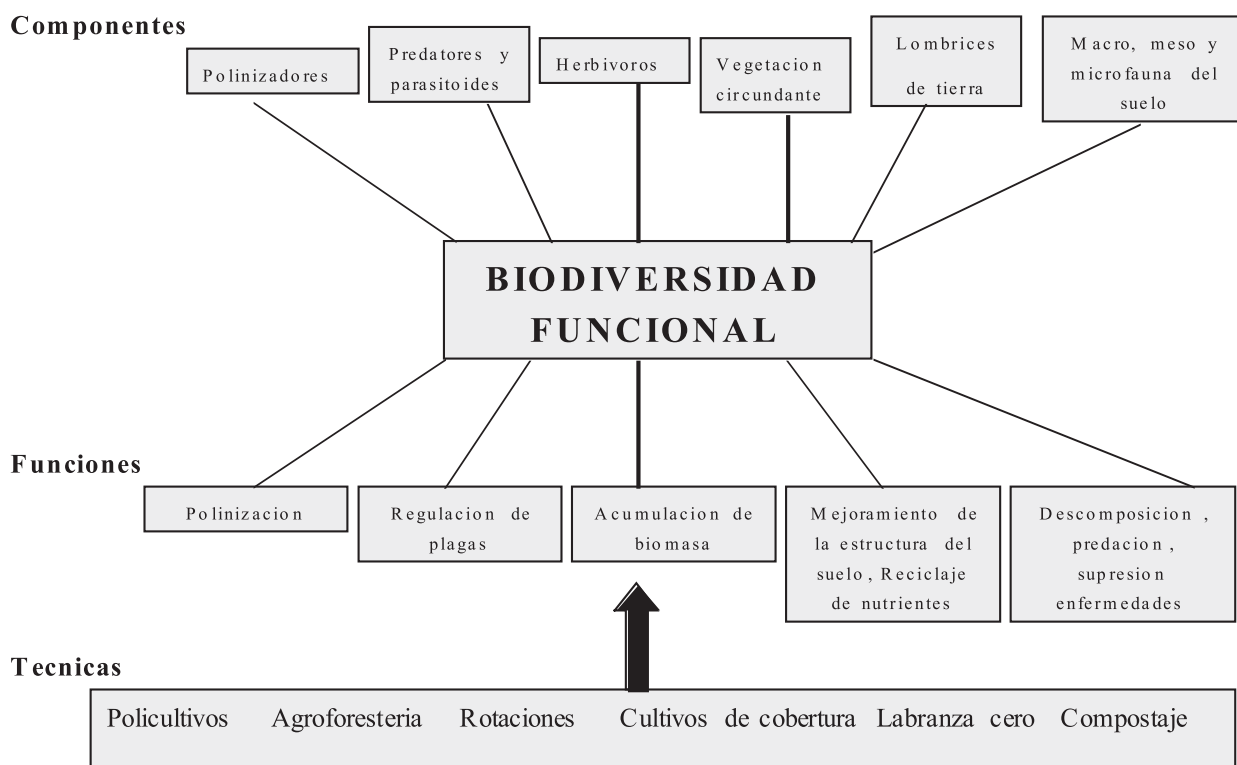


Figura 1. Componentes, funciones y estrategias de mejoramiento de la biodiversidad en agroecosistemas.

teractúan recíprocamente dentro de un ecosistema. En todos los agroecosistemas, existen polinizadores, enemigos naturales, lombrices de tierra y microorganismos del suelo, todos componentes claves de la biodiversidad que juegan papeles ecológicos importantes, al mediar procesos como introgresión genética, control natural, ciclaje de nutrientes, descomposición, etc. (Fig. 1). El tipo y la abundancia de biodiversidad dependen de la estructura y manejo del agroecosistema en cuestión.

En general, un agroecosistema que es más diverso, más permanente, rodeado de vegetación natural y que se maneja con pocos insumos (ej. sistemas tradicionales de policultivos y agrosilvopastoriles) exhibe procesos ecológicos muy ligados a la amplia biodiversidad del sistema. Esto no sucede en sistemas simplificados (monocultivos modernos) que deben ser subsidiados con altos insumos al carecer de biodiversidad funcional.

Todos los agroecosistemas son dinámicos y están sujetos a diferentes tipos de manejo, de manera que los arreglos de cultivos en el tiempo y en el espacio están cambiando continuamente de acuerdo con factores biológicos, socioeconómicos y ambientales. Tales variaciones en el paisaje determinan el grado de heterogeneidad característica de cada región agrícola, la que a su vez condiciona el tipo de biodiversidad presente y la cual puede o no beneficiar la protección de cultivos en agroecosistemas particulares. Uno de los mayores desafíos para los agroecólogos es identificar ensamblajes de biodiversidad, ya sea a nivel del campo o paisaje, que rendirán resultados favorables tales como regulación de plagas. El desafío de diseñar tales arquitecturas solamente se podrá enfrentar estudiando las relaciones entre la diversificación de la vegetación y la dinámica poblacional de herbívoros y sus enemigos naturales asociados en agroecosistemas particulares.

El nivel de biodiversidad insectil en los agroecosistemas depende de cuatro características principales (Southwood & Way 1970):

- La diversidad de vegetación dentro y alrededor del agroecosistema.
- La durabilidad del cultivo dentro del agroecosistema.
- La intensidad del manejo.
- El aislamiento del agroecosistema de la vegetación natural.

Los componentes de la biodiversidad en agroecosistemas se pueden clasificar de acuerdo a la función que juegan en el agroecosistema. Según esto la biodiversidad se puede agrupar como:

- Biodiversidad productiva: cultivos, árboles y animales que son elegidos por los agricultores y que establecen el nivel básico de diversidad útil en el sistema.
- Biota funcional: organismos que contribuyen a la productividad a través de la polinización, control biológico, descomposición, etc.
- Biota destructiva: malezas, insectos plaga y patógenos que reducen la productividad cuando alcanzan niveles poblacionales altos.

Estas categorías pueden agruparse en otra forma propuesta por Vandermeer & Perfecto (1995) que reconocen dos tipos de componentes de la biodiversidad. El primer componente, biodiversidad planificada o productiva, incluye los cultivos y animales incluidos en el agroecosistema por el agricultor y la cual variará de acuerdo al manejo y los arreglos de cultivos. El segundo componente, la biodiversidad asociada, incluye la flora y fauna del

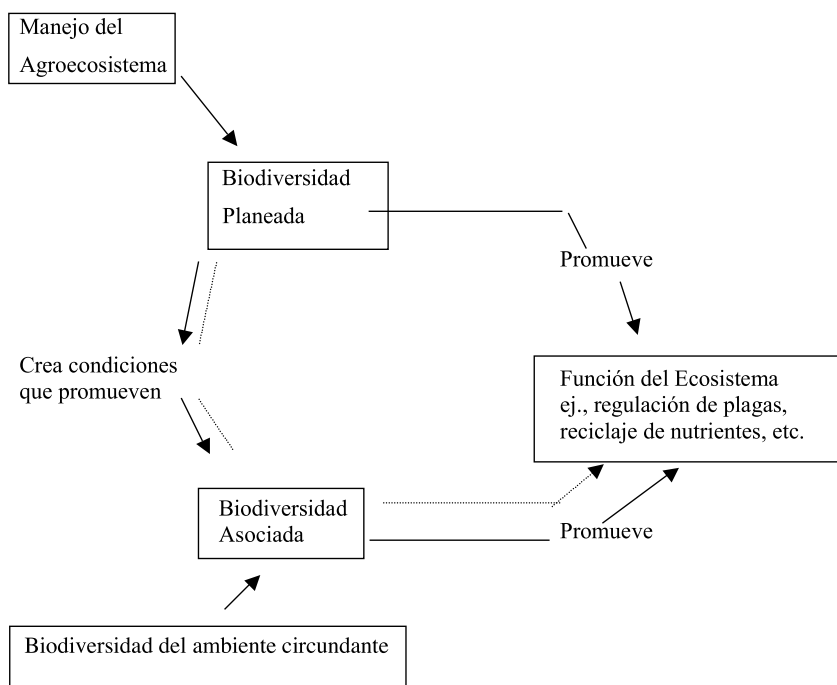


Figura 2. La relación entre los diferentes tipos de biodiversidad y el funcionamiento de agroecosistemas (Vandermeer & Perfecto 1995).

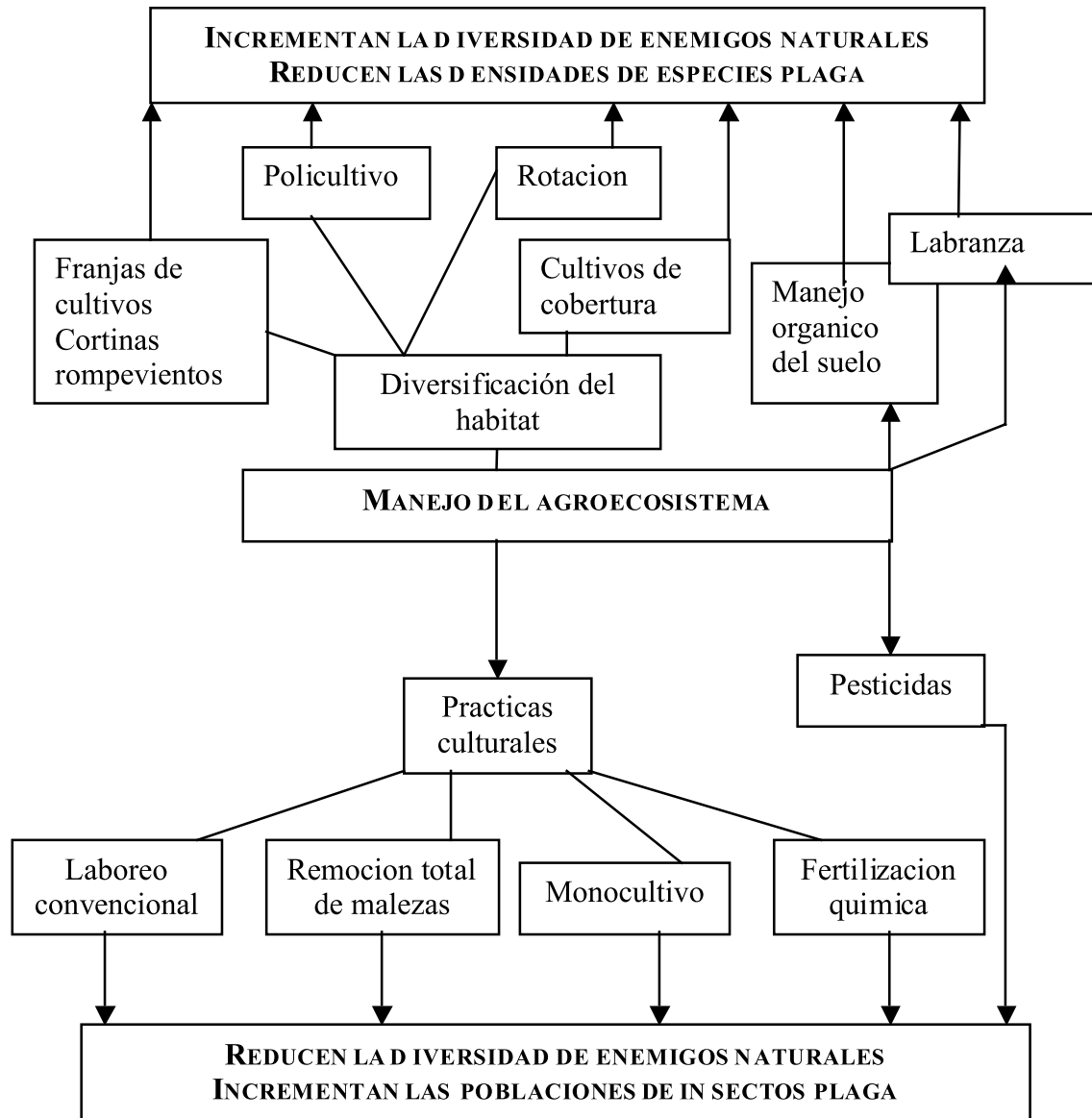


Figura 3. Efectos de las prácticas agrícolas y el manejo del agroecosistema en las poblaciones de insectos plaga y enemigos naturales.

suelo, los herbívoros, descomponedores y depredadores, que colonizan al agroecosistema desde los ambientes circundantes y que permanecerán en el agroecosistema dependiendo del tipo de manejo adoptado. La relación entre los dos componentes de biodiversidad se ilustra en la Fig. 2. La biodiversidad planificada tiene una función directa como lo señala la flecha que conecta a la caja de biodiversidad planificada y la caja de la función del agroecosistema. La biodiversidad asociada también tiene una función, pero está mediada por la biodiversidad planificada que también exhibe una función indirecta. Por ejemplo en un sistema agroforestal, los árboles crean sombra, lo que hace posible que sólo crezcan cultivos tolerantes a la sombra. Por lo tanto la función directa de los árboles es crear sombra. Pero asociadas a los árboles existen pequeñas avispas que buscan el néctar en las flores de los árboles. Estas avispas son parasitoides naturales de

plagas que normalmente atacan a los cultivos. Las avispas son parte de la biodiversidad asociada. Así los árboles crean sombra (función directa) y atraen avispas (función indirecta) (Vandermeer & Perfecto 1995).

Es clave identificar el tipo de biodiversidad que es deseable de mantener o incrementar de manera que se puedan llevar a cabo las funciones (o servicios) ecológicos, y de determinar cuales son las mejores prácticas de manejo para incrementar la biodiversidad deseada. Como se observa en la Fig. 3, existen muchas prácticas agrícolas que tienen el potencial de incrementar la biodiversidad funcional, y otras de inhibirla o reducirla. Lo importante es utilizar las prácticas que incrementen la biodiversidad y que ésta a su vez tenga la capacidad de subsidiar la sostenibilidad del agroecosistema al proveer servicios ecológicos como el control biológico, el reciclaje de nutrientes, la conservación de suelo y agua, etc.

Tabla 1. Ejemplos de sistemas de cultivo múltiples que previenen la explosión de plagas mediante el incremento de enemigos naturales.

Sistema Múltiple de Cultivos	Plaga Regulada	Factores Involucrados
Cultivos de Brassica y frijol	<i>Brevicoryne brassicae</i> y <i>Delia brassicae</i>	Alta predación e interrupción del comportamiento de oviposición
Bruselas intercaladas con habas y/o mostazas	<i>Phyllotreta cruciferae</i> y áfidos de la col <i>Brevicoryne brassicae</i>	Reducción de la apariencia de la planta, actúa como cultivo trampa, incrementando el control biológico
Coles intercaladas con trébol rojo	<i>Erioschia brassicae</i> , <i>Pieris rapae</i>	Interferencia con colonización e incremento de carábidos en el suelo
Yuca intercalada con caupí	Moscas blancas, <i>Aleurotrachelus socialis</i> y <i>Trialeurodes variabilis</i>	Cambios en el vigor de la planta e incremento en la abundancia de enemigos naturales
Maíz intercalado con habas y calabaza	Pulgones, <i>Tetranychus urticae</i> y <i>Macroductylus</i> sp.	Incremento en la abundancia de predadores
Maíz intercalado con batata	<i>Diabrotica</i> spp. y cicadelidos <i>Agallia lingula</i>	Incremento en el parasitismo
Algodón intercalado con caupí forrajero	Picudo <i>Anthonomus grandis</i>	Incremento en la población del parásito <i>Eurytoma</i> sp.
Policultivo de algodón con sorgo o maíz	Gusano de maíz <i>Heliothis zea</i>	Incremento en la abundancia de predadores
Franjas de cultivo de algodón y alfalfa	Chinches <i>Lygus hesperus</i> y <i>L. elisus</i>	Prevención de la emigración y sincronización entre las plagas y los enemigos naturales
Duraznos intercalados con fresas	Enrollador de la hoja de la fresa <i>Ancyliis comptana</i> y polilla <i>Grapholita molesta</i>	Incremento de población de parásitos (<i>Macrocentrus ancylivora</i> , <i>Microbracon gelechise</i> y <i>lixophaga variabilis</i>)
Maní intercalado con maíz	Berreneador del maíz <i>Ostrinia furnacalis</i>	Abundancia de arañas (<i>Lycosa</i> sp.)
Sésamo intercalado con algodón	<i>Heliothis</i> spp.	Incremento en la abundancia de insectos benéficos y cultivos trampa

Fuente: Altieri & Nicholls 2004.

Existen varios factores ambientales que influyen la diversidad, abundancia y actividad de parasitoides y depredadores en los agroecosistemas: condiciones microclimáticas, disponibilidad de alimentos (agua, polen, presas, etc.), recursos del hábitat (sitios de reproducción, refugio, etc.), competencia inter-específica y presencia de otros organismos (hiperparásitos, depredadores, etc.). Los efectos de cada uno de estos factores variará de acuerdo al arreglo espacio-temporal de cultivos y a la intensidad de manejo; ya que estos atributos afectan la heterogeneidad ambiental de los agroecosistemas (Van den Bosch & Telford 1964).

A pesar de que los enemigos naturales varían ampliamente en su respuesta a la distribución, densidad

y dispersión de cultivos, la evidencia señala que ciertos atributos estructurales del agroecosistema (diversidad vegetal, niveles de insumos, etc.) influyen marcadamente en la dinámica y diversidad de depredadores y parasitoides. La mayoría de estos atributos se relacionan con la biodiversidad y están sujetos al manejo (ej. asociaciones y rotaciones de cultivos, presencia de malezas en floración, diversidad genética, etc.) (Rabb *et al.* 1976, Altieri 1994).

Diversificación dentro del campo cultivado

En general, está bien documentado que en agroecosistemas policulturales hay un incremento en la abundancia

de depredadores y parasitoides, ocasionado por la expansión de la disponibilidad de presas alternativas, fuentes de néctar y microhábitats apropiados (Altieri 1994). En la Tabla 1 se presentan varios ejemplos de plagas reguladas en una serie de policultivos.

Hay dos hipótesis que explican la menor abundancia de herbívoros en policultivos: la de la concentración de recursos y la de los enemigos naturales (Smith & McSorely 2000). Ambas hipótesis explican que pueden haber diferentes mecanismos actuando en agroecosistemas distintos y tienden a sugerir los tipos de ensamblajes vegetacionales que poseen efectos reguladores y los que no, y bajo que circunstancias agroecológicas y que tipo de manejo (Root 1973). De acuerdo a estas hipótesis, una menor densidad de herbívoros puede ser el resultado de una mayor depredación y parasitismo, o alternativamente el resultado de una menor colonización y reproducción de plagas ya sea por repelencia química, camuflaje o inhibición de alimentación por parte de plantas no-hospederas, prevención de inmigración u otros factores (Andow 1991).

Hay varios factores que les permiten a los policultivos limitar el ataque de plagas. El cultivo puede estar protegido de las plagas por la presencia física de otro cultivo más alto que estaría actuando como barrera o camuflaje. La asociación de repollo con tomate reduce las poblaciones de polilla del repollo, mientras que las mezclas de maíz, frijol y calabaza tienen el mismo efecto sobre crisomélidos. El olor de algunas plantas también puede afectar la capacidad de búsqueda de ciertas plagas. Los bordes de pasto repelen a cicadélidos del frijol y los estímulos químicos de la cebolla no permiten a ciertas especies de moscas encontrar a zanahorias en un policultivo (Altieri 1994). Igualmente, cultivos de repollo y brócoli sufren menos daño por áfidos y crisomélidos cuando se intercalan con crucíferas silvestres que actúan como atrayentes de estas plagas (Landis *et al.* 2000).

El efecto clave de la diversidad vegetal en el incremento del control biológico de plagas se ha comprobado más fácilmente en huertos frutales y viñedos que son sistemas más permanentes que los monocultivos anuales. Varios trabajos realizados en la ex URSS, indican que el uso de plantas productoras de néctar en huertos de frutales, proveen recursos alimenticios importantes para incrementar la efectividad de insectos entomófagos. Experimentos demostraron que la siembra de *Phacelia* spp en los huertos, incrementaba el parasitismo de *Quadraspidiotus perniciosus* (Homoptera: Diaspididae) por su parásito *Aphytis proclia* (Hymenoptera: Aphidiidae). Tres siembras sucesivas de flores *Phacelia* en estos campos, incrementó el parasitismo alrededor de un 70%. Estas mismas plantas han demostrado, además un incremento en la abundancia de *Aphelinus mali* (Hymenoptera: Aphelinidae) para el control de áfidos en manzana, y una marcada actividad del parásito *Trichogramma* spp, en el mismo cultivo (Van den Bosch & Telford 1964).

En el norte de California nuestros estudios en viñedos demuestran que los cultivos de cobertura mantienen un gran número de *Orius*, coccinélidos, arañas especialmente de la familia Thomisidae y otras especies de predadores.

Comparaciones de la abundancia de depredadores en los sistemas con y sin cultivos de cobertura muestran que la presencia de trigo sarraceno y girasol produce un incremento en la densidad de depredadores. La pregunta es si tales incrementos en la abundancia de predadores (especialmente dado que *Anagrus* actúa de manera similar en los dos sistemas) explican las bajas poblaciones del cicadélido de la uva y de trips observados en los viñedos diversificados. Este estudio revela que la alta densidad de depredadores está correlacionada con las poblaciones menores de cicadélidos de la uva y esta relación es más clara en el caso de la interacción *Orius*-trips. Los experimentos del corte de la cobertura sugieren una conexión ecológica directa, puesto que el corte del cultivo de cobertura forzó el movimiento de *Anagrus* y de depredadores que se encontraban en las flores, resultando así en una disminución de la población del cicadélido de la uva en las viñas adyacentes a los sistemas donde el cultivo de cobertura fue cortado (Nicholls *et al.* 2000).

Aparentemente las características funcionales de las especies que componen el sistema son tan importantes como el número total de especies. Los papeles funcionales representados por las especies de plantas son claves en determinar procesos y servicios en agroecosistemas. Esto tiene implicaciones prácticas para el manejo del hábitat. Si es más fácil emular un proceso ecológico específico que duplicar la complejidad de la naturaleza, entonces se debiera realizar esfuerzos para incorporar un componente específico de la biodiversidad vegetal que juegue un rol especial (ej. que fija nitrógeno o que sus flores atraen parasitoides). Dependiendo de las condiciones del agricultor, todo lo que se necesita podría ser una rotación o la adición de un cultivo asociado. En el caso de agricultores de pocos recursos que no pueden tomar muchos riesgos, la adopción de policultivos de alta diversidad probablemente sea la mejor opción.

Desde un punto de vista práctico, es más fácil diseñar estrategias de manejo de insectos en policultivos utilizando la hipótesis de los enemigos naturales que la de la concentración de recursos. Esto se debe a que aún no se han identificado bien las situaciones ecológicas o los rasgos en el sistema de vida, que hacen a ciertas plagas más o menos sensitivas a como se organizan los cultivos en el campo (Kareiva 1986). Los monocultivos son ambientes difíciles para inducir una operación eficiente de enemigos naturales debido a que éstos carecen de recursos adecuados para el desempeño óptimo de depredadores y parasitoides, y porque en general se usan prácticas que afectan negativamente al control biológico. Los policultivos sin embargo poseen condiciones intrínsecas (ej. diversidad de alimentos y refugios, y generalmente no son asperjados con plaguicidas) que favorecen a los enemigos naturales. En estos sistemas la elección de una planta alta o baja, una en floración, una de maduración prematura o una leguminosa puede magnificar o disminuir los efectos de la mezclas de cultivos sobre las plagas (Vandermeer 1989). De esta forma, reemplazando o adicionando una diversidad correcta de plantas, es posible ejercer cambios en la diversidad del

hábitat que a su vez mejore la abundancia y efectividad de enemigos naturales.

Estructura del paisaje agrícola y biodiversidad de insectos

Una tendencia desafortunada que acompaña a la expansión de los monocultivos, es que ésta ocurre a expensas de la vegetación natural circundante que sirve para mantener la biodiversidad a nivel del paisaje. Una consecuencia de esta tendencia es que la cantidad total de hábitat disponible para insectos benéficos está decreciendo a tasas alarmantes. En la medida que se homogeniza el paisaje y aumenta la disturbancia en el ambiente, este se torna cada vez más desfavorable para los enemigos naturales. Las implicaciones de la pérdida de hábitat para el control biológico de plagas pueden ser serias dadas las evidencias que demuestra un incremento de plagas en los paisajes agrícolas homogéneos (Altieri & Letourneau 1982). Datos recientes demuestran que hay un incremento de enemigos naturales y control biológico más efectivo en áreas donde permanece la vegetación natural en los bordes de los campos (Barbosa 1998). Estos hábitats son importantes como sitios de refugio y proveen recursos alimenticios para enemigos naturales en épocas de escasez de plagas en el campo (Landis *et al.* 2000).

La manipulación de la vegetación natural adyacente a los campos de cultivo, puede ser también usada para promover el control biológico, ya que la supervivencia y actividad de muchos enemigos naturales depende de recursos ofrecidos por la vegetación contigua al campo. Los cercos vivos y otros aspectos del paisaje han recibido gran atención en Europa, debido a sus efectos en la distribución y abundancia de artrópodos en las áreas adyacentes a los cultivos (Fry 1995). En general, se reconoce la importancia de la vegetación natural alrededor de los campos de cultivo como reserva de enemigos naturales de plagas (van Emden 1965). Estos hábitats pueden ser importantes como sitios alternos para la hibernación de algunos enemigos naturales, o como áreas con recursos alimenticios tales como polen o néctar para parasitoides y depredadores. Muchos estudios han documentado el movimiento de enemigos naturales desde los márgenes hacia el centro de los cultivos demostrando un mayor nivel de control biológico en hileras de cultivos adyacentes a vegetación natural (Pickett & Bugg 1998, Thies & Tschardtke 1999). Estudios de los parasitoides Tachinidae e Ichneumonidae atacando *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) fueron conducidos cerca de Moscú y los datos muestran que la eficiencia del parasitismo fue substancialmente mayor en hileras de repollos cercanas a márgenes con plantas en floración de la familia umbelífera (Huffaker & Messenger 1976).

La presencia y distribución de hábitats no cultivados alrededor de campos frecuentemente puede ser crítico para la supervivencia de los enemigos naturales. *Eriborus terebrans* (Hymenoptera: Ichneumonidae) es una avispa que parasita las larvas del barrenador europeo del maíz (*Ostrinia nubil-*

lis: Lepidoptera, Pyralidae). La hembra de *Eriborus* requiere temperaturas moderadas (<32 °C) y una fuente de azúcar (néctar de plantas en flor o miel producida por los áfidos). Ninguna de estas condiciones se cumple en un campo de maíz manejado de forma convencional. Por tanto, las avispas buscan sitios más protegidos como en cercas de madera y zonas boscosas donde encuentran temperaturas más bajas, una mayor humedad relativa y abundantes fuentes de alimento para los adultos. Las larvas del barrenador europeo del maíz ubicadas en bordes de cultivos cercanos a esta clase de hábitats son parasitadas de dos a tres veces más que en las hileras internas de los campos (hasta 40 %) (Landis *et al.* 2000).

En California, se ha observado que el parásito de huevos *Anagrus epos* (Hymenoptera: Mymaridae) es efectivo en el control del cicadélido de la uva *Erythroneura elegantula* (Homoptera: Cicadellidae) en viñedos adyacentes a moras silvestres, puesto que estas albergan otro cicadélido *Dikrella cruentata* (Homoptera: Cicadellidae) que no es considerada plaga, pero que sus huevos sirven, en invierno, como único alimento para el parásito *Anagrus*. Estudios recientes muestran, además, que ciruelos (*Prunus* sp.) plantados alrededor de los viñedos tienden a incrementar la población de *Anagrus epos* y promover parasitismo de cicadélidos temprano en la estación (Flint & Roberts 1988). Nuestra investigación en viñedos orgánicos en el norte de California sugiere que la dispersión y las subsecuentes densidades de los herbívoros y sus enemigos naturales asociados, están influenciadas por las características del paisaje tales como el bosque ripario y el corredor adyacente al viñedo. La presencia de los hábitats riparios incrementa la colonización de depredadores y su abundancia en los viñedos adyacentes, sin embargo esta influencia es limitada por la distancia a la cual los enemigos naturales se dispersan dentro del viñedo. El corredor, sin embargo, amplifica esta influencia permitiendo incrementar la dispersión y circulación de depredadores al centro del campo incrementando el control biológico especialmente en las hileras de viñas cerca a los hábitats que proveen este alimento alternativo (Nicholls *et al.* 2001). También en California en el Valle de San Joaquín, el parasitismo del gusano de la alfalfa, *Colias eurytheme* (Lepidoptera: Pieridae) con *Apanteles medicaginis* (Hymenoptera: Braconidae) fue mucho mayor en secciones del campo donde las malezas se encontraban en floración junto a los canales de irrigación, en contraste con áreas de cultivo donde la maleza fue eliminada (DeBach 1964).

En un estudio que comparó paisajes simples con otros de mosaico, Ryszkowski *et al.* (1993) concluyeron que los enemigos naturales dependen más que las plagas de los hábitats de refugio y cuanto mayor fue la abundancia de estos refugios en los paisajes de mosaico, mayor fue su diversidad, abundancia y habilidad para responder a los números de la presa. Landis *et al.* (2000) examinaron el parasitismo del gusano ejército, *Pseudaletia unipuncta* (Lepidoptera: Noctuidae), en paisajes estructuralmente complejos en comparación con paisajes agrícolas simples. En general, el parasitismo en los sitios complejos fue más de tres veces

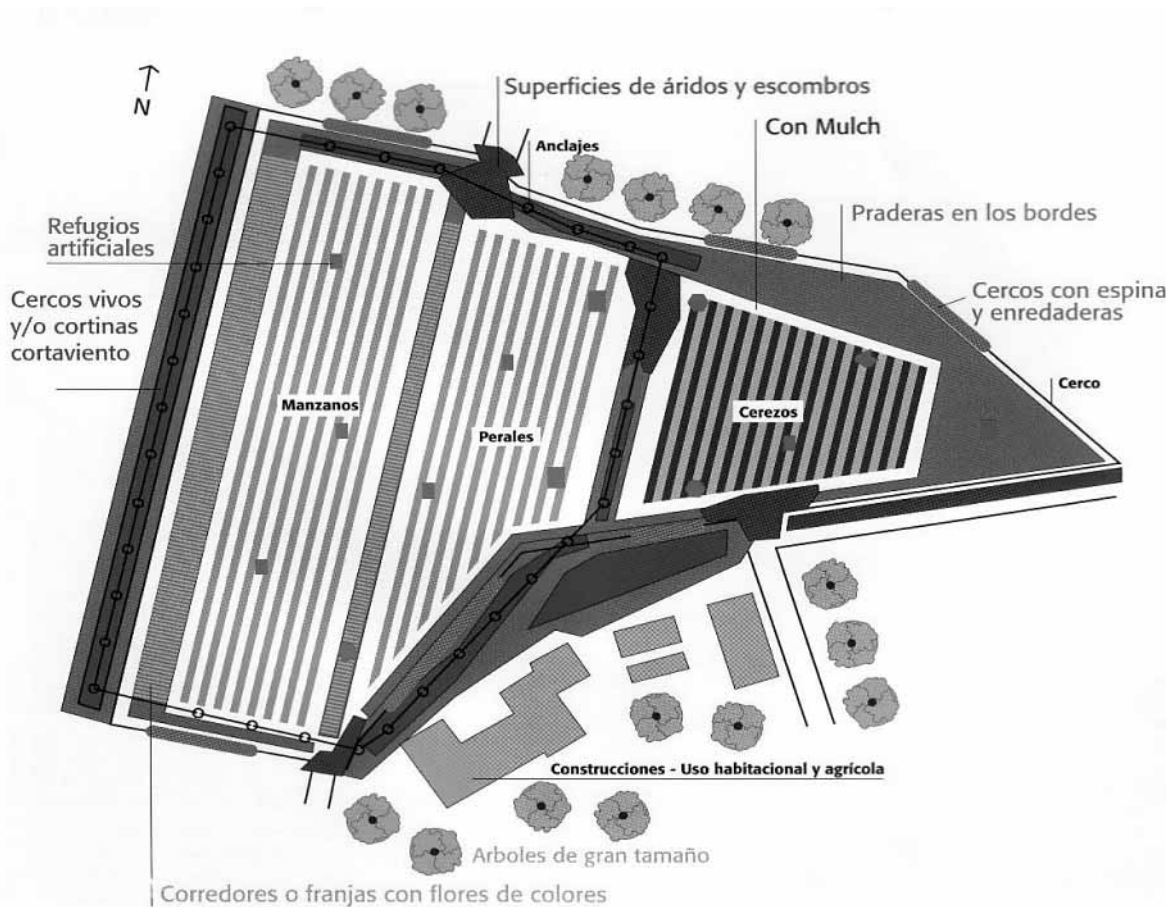


Figura 4. Mapa hipotético de diseño de un sistema asado en huertos frutales diversificados.

superior que en los sitios simples (13.1 % versus 3.4 %). Las diferencias fueron atribuidas en gran parte a *Meterous communis* (Hymenoptera: Braconidae) avispa que fue mucho más abundante en los hábitats complejos. Los autores propusieron la hipótesis de que la abundancia y proximidad de hábitats preferidos para hospederos alternos de *M. communis* parecía ser responsable de las diferencias observadas.

En muchos casos, las malezas y otro tipo de vegetación alrededor de los campos albergan presas/hospederos para los enemigos naturales, proporcionando así recursos estacionales y cubriendo las brechas en los ciclos de vida de los insectos entomófagos y de las plagas (Altieri & Whitcomb 1979). Diversas investigaciones en el norte de California han demostrado que existe un movimiento considerable de insectos entomófagos desde los bosques riparios hacia los huertos de manzanos adyacentes, siendo los huertos orgánicos los que muestran una mayor colonización que los huertos asperjados con insecticidas (Altieri & Schmidt 1986). Varias especies de depredadores y parasitoides colectados en los márgenes del bosque fueron capturadas en la interfase huerto-bosque y más tarde colectadas dentro de los bosques, sugiriendo que la organización de la fauna benéfica de los huertos está condicionada por el tipo de vegetación natural circundante.

En zonas templadas los investigadores han intentado incrementar los depredadores utilizando franjas de

pastos o flores y bordes vegetacionales. En Inglaterra, cuando se utilizan estas estrategias de diversificación vegetal (especialmente franjas de pastos) y se elimina el uso de plaguicidas en cereales, los depredadores carábidos colonizan los campos y proliferan, controlando las poblaciones de áfidos que tienden a ser más numerosos en los centros de los campos (Wratten 1988). El costo de establecer un "banco" de coleópteros de 400 metros en 20 has es de aproximadamente \$200 dólares, incluyendo aradura, semilla de pasto y pérdida de área para el cultivo principal. Una sola aplicación de insecticidas contra áfidos cuesta \$ 750 dólares, más el costo de la pérdida de rendimientos por el ataque de pulgones.

A pesar de estas observaciones, existen pocos esfuerzos en el mundo para diversificar agroecosistemas modernos a nivel del paisaje con márgenes naturales, compuestos por especies en floración que actúan como plantas insectarias. Experiencias de este tipo llenarían una brecha en la información de cómo los cambios en el diseño físico y a nivel de biodiversidad en agroecosistemas afectaría la distribución y abundancia de una comunidad compleja de insectos plaga y enemigos naturales asociados. Por ejemplo la Fig. 4, muestra un mapa hipotético de diseño de un sistema basado en huertos frutales en la cual se incluyen cercos vivos, praderas adyacentes y cultivos de cobertura con el objeto de incrementar recursos alimenticios y de

hábitat para enemigos naturales que al estar presentes en el sistema desde temprano en la estación previenen explosiones de plagas en manzanos, perales y cerezos. En este diseño se espera que los corredores puedan servir como canales para la dispersión de depredadores y parasitoides en agroecosistemas. Dada la alta relación perímetro-área de los corredores, la interacción con campos adyacentes es substancial, proveyendo protección a los cultivos dentro de un área de influencia, determinada por la distancia que se mueven los depredadores desde los corredores hacia cierto rango del campo. Al documentar estos efectos será posible entonces determinar el largo, ancho, distancia y frecuencia a la que los corredores deberán colocarse en los campos para mantener un nivel óptimo de entomofauna benéfica, evitando así la necesidad del uso de plaguicidas. Un sistema de corredores y márgenes en agroecosistemas puede también tener efectos importantes a nivel ecológico tales como interrupción de la dispersión de propágulos de patógenos y semillas de malezas, barreras al movimiento de insectos dispersados por el viento, decremento del acarreo de sedimentos y pérdida de nutrientes, producción de biomasa incorporable al suelo, y modificación de la velocidad del viento y microclima local. Lo más importante es que el diseño de corredores puede convertirse en una estrategia importante para la re-introducción de biodiversidad en monocultivos de gran escala, facilitando así la re-estructuración de agroecosistemas para su conversión a un manejo agroecológico a nivel de cuenca o paisaje.

En el pasado, la conservación típicamente se intentaba con una especie a la vez, concentrándose en suplir las necesidades del enemigo natural, que se pensaba era el más importante, en un sistema particular. Aunque éste continuará siendo un enfoque enormemente útil, ahora la teoría agroecológica provee la información necesaria para el diseño y manejo de paisajes para conservar e incrementar la efectividad de comunidades enteras de enemigos naturales.

¿Qué se necesita conocer para establecer una estrategia efectiva de manejo de hábitat?

No existe una receta universal para un manejo efectivo del hábitat. Es necesario un conocimiento profundo de la plaga y los enemigos naturales así como también las acciones que se deben tomar para proveer el hábitat y los recursos alimenticios para los enemigos naturales. Algunas acciones que pueden incrementar la diversidad, abundancia y eficiencia de enemigos naturales se proveen en la Tabla 2.

El primer paso en el diseño de fincas amigables a los enemigos naturales es recolectar información sobre los tipos de enemigos naturales que se desean conservar, una vez se tenga esto, es importante considerar los siguientes puntos (ver también Tabla 3):

- **¿Dónde invernan los enemigos naturales?** En Inglaterra, un grupo de investigadores descubrieron que los depredadores más importantes de áfidos en trigo hibernaban

en pastizales cercanos a los campos de cultivo. Los depredadores migraban a los campos en la primavera, pero llegaban demasiado tarde para controlar los áfidos en el centro de los campos. Por lo tanto al plantar una franja de pastos en el centro del campo, los depredadores incrementaron su número, entraron al campo y los daños de áfidos fueron controlados.

- **¿Qué recursos alimenticios alternativos necesitan los enemigos naturales?** ¿Están cerca y disponibles durante todo el tiempo? Después de emerger de la hibernación, las mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae) por ejemplo, se alimentan de polen durante varias semanas antes de moverse a los campos de alfalfa o trigo para alimentarse de áfidos. Muchos parasitoides requieren también polen rico en proteínas para desarrollar nueva progenie. Recursos de azúcar (carbohidratos) son necesarios para muchos parasitoides, los cuales son obtenidos frecuentemente del néctar de plantas en floración o de la mielecilla producida por los áfidos. Teniendo una gran diversidad de plantas dentro y alrededor de los campos de cultivo ha mostrado ser una buena estrategia para mejorar el control biológico. Flores de Umbelíferas, Compuestas y Leguminosas, que exhiben polen expuesto, han demostrado ser universalmente útiles como fuente de alimento para enemigos naturales.

- **¿Necesitan los enemigos naturales presas u hospederos alternativos?** Muchos depredadores y parasitoides requieren de huéspedes alternativos durante su ciclo de vida, como es el caso de *Lydella thompsoni* (Diptera: Tachinidae), la cual parásita el barrenador europeo del maíz *Ostrinia nubilalis*. El parasitóide emerge antes de que las larvas de *O. nubilalis* estén presentes en la primavera y completa su primera generación en otro barrenador del tallo. Prácticas que eliminan los residuos de vegetación donde posiblemente se encuentran estos barrenadores han contribuido a reducir las poblaciones de este parasitóide. Presas alternativas pueden también ser importantes para incrementar el número de depredadores en el campo antes de que la plaga aparezca en el campo. Los coccinélidos y los Anthocoridos pueden consumir huevos del barrenador europeo del maíz, pero presas alternativas deben estar presentes en el campo antes de la aparición del barrenador europeo con el propósito de mantener altas poblaciones de estos depredadores.

- **¿Qué tipo de refugio necesitan los enemigos naturales durante la estación de crecimiento del cultivo?** La actividad de los depredadores del suelo como arañas y carábidos puede ser limitado por las altas temperaturas del suelo durante el día. La incorporación de cultivos de cobertura o cultivos intercalados puede ayudar a reducir las temperaturas del suelo y extender así el periodo de actividad de estos depredadores. Incrementar los residuos de vegetación o diseñar bordes de pastos alrededor de los campos de cultivo puede ser benéfico para los depredadores del suelo. De igual manera, algunos parasitoides requieren temperaturas moderadas y humedad relativa alta,

Tabla 2. Algunas acciones que pueden promover tanto un incremento sustancial de la población de enemigos naturales como una mayor efectividad.

Aumento de la diversidad de plantas en monocultivos anuales	Favorece la abundancia y efectividad de los enemigos naturales al estar mas disponibles presas alternativas, fuentes de néctar y microhábitats apropiados	Diversas asociaciones de cultivos, han mostrado niveles bajos de plagas y un incremento en la abundancia de artrópodos depredadores y parasíticos
Eliminación del uso de insecticidas químicos	Se puede restituir la diversidad biológica y conducir a un control biológico efectivo de plagas específicas.	En nogales de California el control de dos especies de escamas se logro por la introducción de los parasitoides de la familia Encyrtidae y la eliminación total del uso del DDT.
Evitar prácticas disturbantes como el control de malezas con herbicidas y el arado.	Algunas malezas, proveen de insectos huéspedes alternativos para los enemigos naturales; así como fuentes de polen y néctar para los adultos de estos insectos.	Ciertas malezas (principalmente Umbelliferae, Leguminosae y Compositae), juegan un importante rol ecológico al acoger a un complejo de artrópodos benéficos que ayudan en el control de plagas.
Proveer recursos suplementarios	Para incrementar la efectividad de la predación y parasitismo sobre plagas importantes	Como la construcción de nidos artificiales, para las avispas del genero Polistes que predan sobre larvas de lepidópteros en algodón y tabaco. La aspersión de alimentos suplementarios (mezclas de levadura, azúcar y agua) multiplico 6 veces la oviposición del crisópido Chrysoperla carnea e incremento la abundancia de Syrphidae, Coccinellidae y Malachidae. - Siembra de plantas productoras de néctar como Phacelia spp. Incremento el parasitismo y abundancia de Aphytis , Aphelinus y Trichogramma sp. en huertos frutales.
Tener poblaciones alternativas de presas fluctuantes a niveles subeconómicos	Para mejorar la supervivencia y reproducción de insectos benéficos	La abundancia relativa de áfidos en repollo, determino la efectividad de los depredadores de larvas de un lepidóptero. La introducción de poblaciones de huéspedes garantizo una gran efectividad en el control del lepidóptero Pieris y permitió a Trichogramma sp. y a Cotesia sp. incrementarse y mantenerse a un nivel efectivo.
Manipulación de la vegetación natural adyacente a los campos de cultivo	Promueve el control biológico y son áreas con recursos alimenticios como polen y néctar para los enemigos naturales o bien son sitios alternos de invernación de algunos enemigos naturales. La vegetación natural alrededor de los campos, han mostrado ser reservorios de enemigos naturales.	Diversos estudios han evidenciado el movimiento de enemigos naturales desde los márgenes hacia adentro de los cultivos, notándose una mayor control de la plaga en las plantas adyacentes a los márgenes de vegetación natural. El parasitismo de Tachinidae e Ichneumonidae sobre Plutella xylostella fue mayor en las hileras de repollo cercanas a márgenes con plantas en floración de umbelíferas.
Uso de cercos vivos	Promueve alimento alternativo	En California se ha observado que el parásito de huevos Anagrus , es efectivo en el control de la "chicharrita de la uva" Erythroneura elegantula en viñedos adyacentes a moras silvestres, ya que este alberga otra especie de "chicharrita" que no es considerada como plaga, pero que sus huevos sirven en el invierno como el único recurso alimenticio para el parásito Anagrus . También en California en el Valle de San Joaquín, el parasitismo del gusano de la alfalfa Colias eurytheme por Apanteles medicaginis fue mayor en donde había bordes de malezas en floración.

Tabla 3. Información clave necesaria para el diseño de un plan de manejo del hábitat.

<ol style="list-style-type: none"> 1. Ecología de la plaga y los insectos benéficos <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las plagas más importantes que requieren manejo? • ¿Cuáles son los depredadores y parasitoides más importantes de la plaga? • ¿Cuáles son los recursos alimenticios primarios, el hábitat y otros requerimientos específicos de las plagas y los enemigos naturales? ¿Desde dónde se inicia la infestación de la plaga, como la plaga es atraída al cultivo, y como se desarrolla en el cultivo? ¿de dónde vienen los enemigos naturales, como son atraídos al cultivo? ¿Cómo y cuándo se desarrollan en el cultivo? 2. Tiempo <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuándo aparecen por primera vez las poblaciones de la plaga y cuando estas poblaciones se convierten en económicamente dañinas? • ¿Cuándo están presentes los recursos (néctar, polen, huéspedes y presas alternativas) para los enemigos naturales? ¿Por cuánto tiempo están presentes los recursos? • ¿Qué plantas nativas anuales o perennes pueden proveer estas necesidades de hábitat?

por lo que muchos de ellos tienen que dejar los campos en las horas más calientes del día y buscar refugio en las áreas cercanas con sombra. Por ejemplo la actividad parasítica de la avispa que ataca el barrenador del maíz fue mayor en los campos rodeados por vegetación arbustiva que proveían sombra y reducían las temperaturas además de que contenían plantas en floración que proveían néctar y polen o sustancias azucaradas a las avispas.

Una vez se recoja toda la información necesaria, los agricultores pueden decidir como diseñar una estrategia de manejo del hábitat tomando en consideración los siguientes puntos:

1. Selección de las especies de plantas más apropiadas.
2. Arreglos espaciales y temporales de tales plantas, dentro y/o alrededor de los campos.
3. Escala espacial sobre la cual el mejoramiento del hábitat opera, cuales efectos se esperan a nivel de campo o a nivel del paisaje.
4. Los aspectos del comportamiento del depredador/parasitóide que están influenciados por la manipulación del hábitat.
5. Conflictos potenciales que pueden emerger cuando se adicionan nuevas plantas al agroecosistema (por ejemplo en California, plantas de *Rubus* alrededor de los viñedos incrementa el parasitismo del cicadélido de la uva pero puede también incrementar la abundancia de otro cicadélido (sharpshooter) que es el vector de Pierce's disease).
6. Desarrollar maneras mediante las cuales al adicionar plantas no causen problemas con otras prácticas agronómicas, y seleccionar plantas que preferiblemente tengan efectos múltiples tales como: mejorar la regulación de plagas pero al mismo tiempo mejoran la fertilidad del suelo, supriman malezas, etc.
7. Los agricultores deben considerar el costo de la preparación del suelo, la siembra y el mantenimiento (irrigación, deshierbe, etc.) para el establecimiento de una vegetación determinada. Idealmente la estrategia usada debería ser simple y barata para implementar así como también efectiva en el control

de las plagas. Los agricultores también deberían poder modificar el sistema de acuerdo a sus necesidades y los resultados observados.

Listado de prácticas que pueden incrementar la diversidad en las fincas:

- Incluir más especies de animales y cultivos
- Incorporar animales y mezclas de pastos
- Usar rotaciones con leguminosas
- Tratar de incorporar cultivos intercalados dentro de cultivos anuales
- Usar variedades que tengan resistencia horizontal (tolerancia media a un rango amplio de razas de un mismo patógeno)
- Usar cultivos de cobertura en huertos de frutales y viñedos
- Practicar agroforestería (combinar árboles, cultivos y animales en la misma área) mientras sea posible
- Dejar hileras de vegetación natural en los bordes de cultivo
- Plantar árboles y vegetación nativa como cortinas rompevientos
- Proveer corredores para incrementar circulación de enemigos naturales y vida silvestre
- Dejar áreas en la finca sin tocar como hábitat para incrementar la biodiversidad animal y vegetal

Conclusiones

Un manejo agroecológico del hábitat con la biodiversidad adecuada, conlleva al establecimiento de la infraestructura necesaria que provee los recursos (polen, néctar, presas alternativas, refugio, etc.) para una óptima diversidad y abundancia de enemigos naturales. Estos recursos deben integrarse al paisaje agrícola de una manera espacial y temporal que sea favorable para los enemigos naturales y por supuesto que sea fácil de implementar por los agricultores. El éxito depende de: a) la selección de las especies de plantas más apropiadas, b) la entomofauna asociada a la biodiversidad vegetal, c) la manera como los enemigos naturales respon-

den a la diversificación y d) la escala espacial a la cual operan los efectos reguladores de la manipulación del hábitat.

La experiencia práctica de miles de agricultores tradicionales en el mundo en desarrollo y de algunos agricultores orgánicos en países industrializados, demuestran que es posible estabilizar las comunidades de insectos en sistemas de cultivo diseñando arquitecturas vegetacionales que albergan poblaciones de enemigos naturales, o que tengan efectos deterrentes directos sobre plagas (Altieri 1991). Lo que hace difícil de masificar esta estrategia agroecológica, es que cada situación se debe analizar independientemente dado que en cada zona los complejos herbívoros-enemigos naturales varían de acuerdo a la vegetación presente dentro y fuera del cultivo, la entomofauna, la intensidad del manejo agrícola, etc. Sin embargo, lo que es universal es el principio de que la diversificación vegetal es clave para el control biológico eficiente. Las formas específicas de manejo y diseños de diversificación dependerán entonces de las condiciones socioeconómicas y biofísicas de cada región y su definición será el resultado de un proceso de investigación participativa.

Bibliografía

- Altieri MA, Whitcomb WH. 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. *Hort-Science* 14: 12-18.
- Altieri MA, Letourneau DL. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1: 405-430.
- Altieri MA, Schmidt LL. 1986. The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 16: 29-43.
- Altieri MA. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems. *Outlook on Agriculture* 20: 15-23.
- Altieri MA. 1994. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. Haworth Press, New York.
- Altieri MA, Nicholls CI. 2004. *Biodiversity and pest management in agroecosystems*: Binghamton USA: Food Products Press.
- Andow DA. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36: 561-586.
- Barbosa P. 1998. *Conservation Biological Control*. Academic Press, New York.
- DeBach P. 1964. *Biological control of insect pests and weeds*. Chapman & Hall, London.
- Dempster JP, Coaker TH. 1974. Diversification of crop ecosystems as a means of controlling pests. In *Biology in Pest and Disease Control* (Jones DP, Solomon ME, eds.). New York: John Wiley, pp. 106-114.
- Flint ML, Roberts PA. 1988. Using crop diversity to manage pest problems: some California examples. *American Journal of Alternative Agriculture* 3: 164-167.
- Fry G. 1995. Landscape ecology of insect movement in arable ecosystems. In *Ecology and integrated farming systems* (Glen DM *et al.*, eds.). Bristol, UK: John Wiley & Sons.
- Huffaker CB, Messenger PS. 1976. *Theory and practice of biological control*. Acad. Press. New York.
- Kareiva P. 1986. Trivial movement and foraging by crop colonizers. In *Ecological Theory and Integrated Pest Management Practice* (Kogan M, ed.). New York: J. Wiley & Sons, pp. 59-82.
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GA. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45: 175-201.
- Nicholls CI, Parrella MP, Altieri MA. 2000. Reducing the abundance of leafhoppers and thrips in a northern California organic vineyard through maintenance of full season floral diversity with summer cover crops. *Agricultural and forest entomology* 2: 107-113.
- Nicholls CI, Parrella MP, Altieri MA. 2001. Effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern Californian organic vineyard. *Landscape Ecology* 16: 133-146
- Pickett CH, Bugg R. 1998. *Enhancing Biological Control: habitat management to promote natural enemies of agricultural pests*. University of California Press. Berkeley.
- Rabb RL, Stinner RE, van den Bosch R. 1976. Conservation and augmentation of natural enemies. In *Theory and Practice of Biological Control* (Huffaker CB, Messenger PS, eds.). New York: Academic Press, pp. 233-253.
- Root RB. 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassicae oleraceae*). *Ecological Monographs* 43: 95-124.
- Smith HA, McSorely R. 2000. Intercropping and pest management: a review of major concepts. *American Entomologist* 46: 154-161.
- Southwood TRE, Way MJ. 1970. Ecological background to pest management. In *Concepts of Pest Management* (Rabb RL, Guthrie FE, eds.). North Carolina State University: Raleigh, pp. 6-29.
- Thies C, Tschamtkke T. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285: 893-895.
- Van den Bosch R, Telford AD. 1964. Environmental modification and biological control. In *Biological Control of Insect Pests and Weeds* (DeBach P, ed.). London: Chapman & Hall, pp. 459-488.
- Vandermeer J. 1989. *The ecology of intercropping*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK.
- Vandermeer J, Perfecto I. 1995. *Breakfast of biodiversity: the truth about rainforest destruction*. Food First Books, Oakland.
- Van Emden HF. 1965. The role of uncultivated land in the biology of crop pests and beneficial insects. *Scientific Horticulture* 17: 121-126.
- Wratten SD. 1988. The role of field margins as reservoirs of natural enemies. In *Environmental management in agriculture* (JR, ed.). London: Belhaven Press.

SUPRESIVIDAD DEL COMPOST DE ORUJO DE VID FRENTE A MICOSIS EDÁFICAS DE PLÁNTULAS DE HORTALIZAS

Milagrosa Santos, Fernando Diánez, Miguel de Cara, Julio C. Tello

Departamento de Producción Vegetal, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Almería, Carretera Sacramento s/n, La Cañada de San Urbano. 04120 Almería, (España). Tlf: 950015511/27, Fax: 950015939. E-mail: msantos@ual.es; jtello@ual.es

Resumen

La supresión de enfermedades producidas por patógenos del suelo mediante compost en los cultivos hortícolas se ha atribuido muy especialmente a la actividad antagonista de los microorganismos. Una gran diversidad de agentes de control biológico colonizan naturalmente el compost. Esto es especialmente importante para el control de oomicetos patógenos del suelo. El propósito de este trabajo fue determinar la capacidad supresora del compost de orujo de vid frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum* y *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* (*P. parasitica*). Previamente, se realizaron ensayos de antagonismo *in vitro* con 432 microorganismos obtenidos del compost de orujo de vid. Siete microorganismos fueron seleccionados para el enriquecimiento del compost para el bioensayo *Rhizoctonia solani* en rábano, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* en melón, *Phytophthora parasitica* en tomate y dos para *Pythium aphanidermatum* en pepino. Estos experimentos indican que el compost de orujo de vid reduce la severidad de la enfermedad causado por *Pythium*, pero no se produce supresión ni disminución de la severidad de la enfermedad causada por los hongos fitopatógenos *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* y *Phytophthora parasitica*. El enriquecimiento del compost o vermiculita con los microorganismos seleccionados no incrementa el efecto supresor.

Palabras clave: Compost de vid, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum* y *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica*, supresividad, control biológico.

Summary

Suppression of soil-borne mycosis by grape marc compost in vegetable seedlings

Suppression of soil-borne diseases of horticultural crops by compost has been attributed to the activities of antagonistic microorganisms. A great diversity of biological control agents naturally colonize compost. This is especially true for biological control agents effective against the soilborne Oomycete pathogens. The purpose of this research was to determine the suppressive capacity of grape marc compost against *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum* and *Phytophthora parasitica*. Previously, antagonist *in vitro* assay were performed with 432 microbial morphologies isolated from grape marc compost. Seven microorganisms were selected for further bioassay with radish-*Rhizoctonia solani*, melon-*Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*, and tomato-*Phytophthora parasitica* and two microorganisms for cucumber-*Pythium aphanidermatum*. Those experiments indicate, that grape marc compost reduce the severity of *Pythium* dumping-off on cucumber, but do not reduce the severity of *Phytophthora* root rot on tomato, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* on melon and *Rhizoctonia solani* on radish. The enrichment of compost or vermiculite with the selected microbes for compost do not improved the suppressive effects.

Keywords: Disease suppressivity, Biological control, Microbial antagonisms, grape marc compost, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum* and *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica*,

Introducción

Los sustratos supresivos son aquellos, en los que a pesar de la presencia de cultivos susceptibles y de condiciones favorables a la aparición de la enfermedad, los patógenos no son capaces de manifestarse, su presencia no determina el desarrollo de la enfermedad, o ésta comienza a manifestarse pero tiende después a desaparecer (Cook & Baker 1983), lo que implica que en estos medios se entorpecen o impiden una o varias etapas de la patogénesis o la instalación del patógeno.

En España se ha generalizado el empleo de las turbas como principal e incluso en ocasiones, el único elemento empleado en las producciones viverísticas y semillísticas. La generalización de su uso como componente de los sustratos para cultivo en contenedor, se justifica por sus excelentes propiedades físicas (Baker 1957, Verdonck *et al.* 1983, Puustjärvi 1994) y a la escasa actividad biológica que alberga (Baker 1957, Waksman & Puvis 1932), lo que, en principio, "simplifica su manejo".

La reducida actividad biológica de las turbas se debe al elevado grado de estabilidad de éstas, especialmente las turbas negras, constituidas por materiales orgánicos mucho más estabilizados que albergan menores poblaciones microbianas y éstas sobreviven menos tiempo (Boehm *et al.* 1993). Esta reducida capacidad de acogida de poblaciones microbianas es responsable de que muchas de las turbas sean conductoras de enfermedades. Las turbas denominadas rubias están menos descompuestas, tienen un alto contenido en celulosa y bajo en lignina (Puustjärvi & Robertson 1975), pueden sostener cierta actividad microbiana y llegar a ser supresivas de micosis como la caída de plántulas y pudrición de raíces por *Pythium* (Boehm & Hoitink 1992). Estas turbas una vez extraídas y expuestas a condiciones aeróbicas y enmendadas para elevar su pH, son colonizadas por microorganismos que pueden inducir microbiostasis, sobresaliendo entre ellos: ciertas bacterias (Boehm *et al.* 1993), ciertos hongos (Wolffhechel 1988) o ciertas cepas de *Streptomyces*, que actúan también por antibiosis (Tahvonen 1993). No obstante, la mayor parte de los estudios que se han realizado sobre los sustratos que contienen algún tipo de turba o mezcla de éstas como único componente orgánico, éstos se muestran conductivos a las enfermedades de origen edáfico, particularmente si son previamente desinfectados con vapor de agua (Hoitink & Fahy 1986), tratamiento generalmente necesario en sustratos en viveros y semilleros que vayan a ser reutilizados para eliminar posibles fitopatógenos (Kavanagh 1972).

En la búsqueda que se ha realizado en el mundo de nuevos sustratos, obtenidos mediante compostado de restos orgánicos, se ha encontrado en no pocas ocasiones con el descubrimiento de un nuevo valor añadido respecto a las turbas. Este valor añadido consiste en la capacidad de reducir o suprimir, la incidencia de determinadas enfermedades en las plantas, cuando estos

sustratos se emplean como medio de cultivo. Es evidente como esta propiedad es de notable interés en los sistemas de producción vegetal antes descritos, y constituye una interesante alternativa en el control de los fitopatógenos del suelo, el empleo de sustratos a base de compost de restos orgánicos, considerados supresivos o resistentes (Hoitink 1980, Hoitink & Fahy 1986, Migheli & Aloï 1992, Whipps 1992, Hoitink *et al.* 1993b, Campbell 1994, Fahy *et al.* 1995, Hoitink *et al.* 1996).

El control de los patógenos no constituye una tarea nada sencilla, y esta tarea es aún más difícil cuando abordamos el control de los patógenos telúricos, especialmente en sistemas de producción intensiva. Los sistemas de producción de plantas y plántulas hortícolas, ornamentales y forestales, son especialmente sensibles por la actual dependencia que se tiene de un sustrato conductor para estas enfermedades, como es la turba. Esta situación se produce también en las explotaciones comerciales que emplean la turba como sustrato base para el establecimiento final de los cultivos, práctica esta cada vez más en desuso, ya que se sustituye la turba por otros sustratos como la perlita, la lana de roca (sustratos inertes) o la fibra de coco (sustrato orgánico), algunos de ellos en principio conductivos dada su estado de esterilidad inicial. En el caso de la lana de roca se ha descrito la supresividad frente a *Pythium aphanidermatum*, cuando el sustrato es colonizado por distintos tipos de microorganismos como *Pseudomonas fluorescens*, *Streptomyces griseoviridis* o *Trichoderma harzianum*, entre otros (Postma *et al.* 2000).

Las estrategias de control tradicionalmente recomendadas en determinados cultivos, como la rotación, son de difícil aplicación en estos sistemas de producción. En las fases de semillero o vivero no hay una recuperación del sustrato, ya que éste es generalmente consumido en el propio ciclo de producción. En la fase de establecimiento de cultivos hortícolas y ornamentales es difícil que sea la problemática fitopatológica la que dirija la ordenación de los cultivos. Gullino & Garibaldi (1990) justifican esta dificultad en dos hechos, por un lado la amplia polifagia de algunos patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae* y algunas especies de *Pythium* y, por otro, la exigencia del mercado consumidor, que no consiente el cambio de los cultivos hortícolas y ornamentales sobre la base de una mera necesidad fitosanitaria. A estas dos consideraciones podemos añadir el elevado tiempo de supervivencia de determinadas estructuras de resistencia que condiciona turnos de rotación muy amplios. Existen otros condicionantes agronómicos, como la calidad del agua de riego, la adecuación de la estructura de producción, e incluso la propia capacitación o especialización del productor en uno o en un número reducido de cultivos que dificultan la realización de rotaciones de cultivo eficaces.

Una medida, en principio recomendable, es el uso de variedades resistentes o en su defecto tolerantes, de hecho, existen para la mayoría de las plantas cultivadas va-

Tabla 1. Ejemplos de supresividad frente a enfermedades por los compost

MATERIAL COMPOSTADO	PATÓGENO	REFERENCIA
Corteza de frondosas	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Hoitink <i>et al.</i> 1977 Sivasithamparam 1981 Spencer & Benson 1981, 1982 Blaker & MacDonald 1983 Hardy & Sivasithamparam 1991
	<i>Phytophthora citricola</i>	Spencer & Benson 1981 Hardy & Sivasithamparam 1991
	<i>Phytophthora drechleri</i>	Hardy & Sivasithamparam 1991
	<i>Phytophthora nicotianae</i> var. <i>nicotianae</i>	Hardy & Sivasithamparam 1991
	<i>Pythium ultimum</i>	Daft <i>et al.</i> 1979 Chen <i>et al.</i> , 1987 Chen <i>et al.</i> 1988
	<i>Rhizoctonia solani</i>	Daft <i>et al.</i> 1979 Stephens <i>et al.</i> 1981 Nelson & Hoitink 1982, 1983 Kuter <i>et al.</i> 1983 Stephens & Stebbins 1985
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Chef <i>et al.</i> 1983 Cebolla & Pera 1983 Trillas-Gay <i>et al.</i> 1986 Hoitink <i>et al.</i> 1991
Nemátodos	Malek & Gartner 1975 McSorley & Galleary 1995	
Corteza de pino	<i>Phytophthora</i> spp	Sivasithamparam 1981 Spencer & Benson 1981, 1982
	<i>Pythium</i> spp	Gugino <i>et al.</i> 1973 Zhang <i>et al.</i> 1996
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Chef <i>et al.</i> 1983 Couteadieur <i>et al.</i> 1987 Pera & Calvet 1989
Orujo de uva	<i>Pythium aphanidermathum</i>	Mandelbaum <i>et al.</i> 1988
	<i>Rhizoctonia solani</i>	Gorodecki & Hadar 1990
	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Gorodecki & Hadar 1990 Hadar & Gorodecki 1991
Orujo de aceituna	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>dianthi</i>	Pera & Calvet 1989
Lodos depuradora	<i>Pythium</i> spp.	Lumsden <i>et al.</i> 1983
Residuos sólidos urbanos	<i>Rhizoctonia</i> spp.	Mathot 1987
Estiércol de ganado	<i>Pythium aphanidermatum</i>	Mandelbaum <i>et al.</i> 1988 Mandelbaum & Hadar 1990
	<i>Phytophthora nicotianae</i> var. <i>nicotianae</i>	Szcaech <i>et al.</i> 1993
	<i>Rhizoctonia solani</i>	Gorodecki & Hadar 1990
	<i>Sclerotium rolfsii</i>	Gorodecki & Hadar 1990
	<i>Fusarium oxysporum</i>	Garibaldi 1988 Szczech <i>et al.</i> 1993
Lodos industria cervecera	<i>Pythium graminicola</i>	Craft & Nelson 1996
Residuos raíz regaliz	<i>Pythium aphanidermatum</i>	Hadar & Mandelbaum 1988

riedades resistentes a algunos de los más importantes fitopatógenos del suelo. Sin embargo, existen limitaciones al uso de las mismas, puesto que es muy difícil desarrollar cultivares resistentes frente a varios patógenos, incluso con las actuales técnicas moleculares. Además, la rápida erosión de la resistencia por la aparición de nuevas razas, hace que se tenga que utilizar con cierta prudencia los cultivares resistentes dentro del sistema productivo (Rodríguez-Kabana 1997, Avilés 1998). A esta situación, hay que añadir, al menos en los sistemas intensivos de producción de hortalizas, la rapidez con que se incrementa el número de problemas fitosanitarios en los cultivos. Este hecho dificulta notablemente los programas de mejora vegetal para la obtención de variedades resistentes a estos nuevos patógenos y a su vez resistentes a los preexistentes.

La práctica más habitual para resolver los problemas asociados a patógenos de los suelos y sustratos, es la desinfección del medio. La desinfección con fumigantes químicos y con vapor de agua es hoy la práctica de control más difundida en la mayoría de los cultivos hortícolas y ornamentales. Chellemi *et al.* (1994) consideran que estas prácticas, cuando son realizadas de forma adecuada, son bastante eficaces, permitiendo la eliminación total o parcial de los patógenos del medio hasta 35 cm de profundidad. La "eficacia" indicada por estos autores es claramente discutible si consideramos la durabilidad del proceso; la realización de desinfecciones de suelo ha conducido en muchas ocasiones a una dinámica de reiteración del proceso todas las campañas. Ejemplos claros de esta dinámica los encontramos en las aplicaciones anuales de Bromuro de metilo que se "realizaban" (aun están permitidos algunos usos críticos) en los cultivos de pimiento de Murcia y Alicante, en los de tomate de Valencia, en los de fresa de Huelva o en los de clavel de Cádiz y Sevilla. La desinfección del terreno o del sustrato de cultivo crea un "vacío biológico" después de la desaparición casi total de la microflora presente, que permite la rápida recolonización de los fitopatógenos supervivientes o de otros introducidos accidentalmente. La eliminación del Bromuro de metilo ha dado pie al desarrollo de otros sistemas más racionales de desinfección del suelo, como son la biofumigación y la biosolarización, sistemas en los que la materia orgánica recupera parte de su "valor perdido" en la agricultura (Tello *et al.* 2006).

La característica que queremos destacar en el presente trabajo es la capacidad supresora que presentan los sustratos a base de compost, frente a las principales enfermedades fúngicas de origen edáfico (Hoitink 1980, Hoitink & Fahy 1986, Hoitink *et al.* 1993a,b, Campbell 1994, Hoitink *et al.* 1996). Durante los últimos treinta años se ha desarrollado un importante cuerpo de conocimientos sobre el control biológico y ambiental de las enfermedades de origen telúrico asociado con el empleo de sustratos elaborados con compost. Este desarrollo se inició en la producción de planta ornamental en

maceta (Hoitink *et al.*, 1975, Hoitink & Kuter 1985), pero actualmente se está extendiendo a todos los cultivos en sustratos (Campbell 1994, Avilés 1998). La mayoría de los compost poseen supresividad natural frente a las podredumbres radicales producidas por *Phytophthora* y *Pythium*, aproximadamente el 20% de los compost poseen supresividad natural frente a la caída de plántulas producida por *Rhizoctonia* (Krause *et al.* 1997, Hoitink & Boehm 1999), y menos del 10% de los compost inducen resistencia sistémica en las plantas (Zhang *et al.* 1996, 1998, Hoitink & Boehm 1999). En la tabla 1, se recogen algunos de los ejemplos de supresividad frente a enfermedades por los compost.

La supresividad en los compost al igual que sucede en los suelos, puede estar ligada a distintos factores de naturaleza física, química o biológica, factores que están entre sí muy interrelacionados. Entre los factores físicos podemos destacar la granulometría; este factor está a su vez íntimamente ligado a propiedades como la capacidad de aireación, de retención de agua, la infiltración, el contenido de humedad y la densidad aparente. Entre los factores químicos podemos señalar las relaciones C/N y lignina/celulosa, la conductividad eléctrica, salinidad, el pH y la presencia de ciertas sustancias tóxicas en la fase líquida que afectan a la incidencia de enfermedades producidas por fitopatógenos del suelo. Entre los factores biológicos encontramos diversos y variados microorganismos, responsables del control biológico mediante uno o varios de los mecanismos que indica Lockwood (1988), la competencia, la antibiosis, el parasitismo/depredación y la resistencia sistémica inducida. Hoitink & Fahy (1986) consideran que la microbiota de los compost es la principal responsable de la existencia de fenómenos de supresividad a enfermedades en los compost.

En el presente trabajo se evalúa la supresividad natural del compost de vid, así como la supresividad del mismo cuando éste se enriquece con microorganismos de control biológico aislados del mismo compost y ensayados *in vitro*, empleando para ello los modelos: *Pythium aphanidermatum*-pepino, *Rhizoctonia solani*-rábano, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis* -cucumerinum-melón y *Phytophthora parasitica*-tomate. La elección de estos patógenos está motivada por su importancia en los cultivos intensivos bajo invernadero españoles y por su ubicuidad.

Material y Métodos

Evaluación *in vivo* de la capacidad supresora del compost de orujo de vid

El objetivo principal es estimar, en una primera aproximación, los posibles efectos supresivos del compost de orujo de vid frente a un grupo de hongos fitopatógenos del suelo que producen enfermedades tanto en semilleros como en cultivos bien establecidos, comparando este efecto con otro sustrato (vermiculita) y conocer los

efectos de la desinfección previa del mismo sobre esa posible supresividad (compost de orujo de vid tratado térmicamente con calor seco a 60 °C durante 6 días).

Durante estos ensayos se optó realizar la pregerminación de las semillas, aunque se prescindió de la interacción patógeno-huésped durante la germinación de la semilla, estado susceptible a la infección por ciertos patógenos asociados a la muerte de semillas en pre-emergencia (Jiménez-Díaz 1990). Esto nos permitió no imputar al patógeno las posibles marras de nascencia debidas a la posible fitotoxicidad del compost. Se pregerminaron las semillas correspondientes para cada ensayo en cámara húmeda a 25 °C y oscuridad, y se transplantaron a macetas de 300 mL a razón de 6 semillas por maceta en los distintos sustratos empleados (vermiculita, compost tratado térmicamente a 60 °C durante 6 días y compost sin tratamiento). Se realizaron 5 repeticiones con 6 plántulas cada una para cada fitopatógeno y microorganismo antagonista utilizado.

Se inoculó un matraz de 500 mL con 200 mL de medio líquido PD (0,2% en glucosa) con una colonia de cada uno de los distintos microorganismos antagonistas seleccionados en un ensayo previo *in vitro* (datos no publicados) y se incubaron a 25 °C y 150 rpm en un agitador orbital durante 36 h en el caso de bacterias y actinomicetos o 96 h en el caso de cepas fúngicas. El volumen necesario de inóculo se multiplicó en función del número de macetas a enriquecer. A la semana del trasplante se regaron los sustratos con 100 mL de los distintos inóculos antagonistas crecidos en medio PD (0,2% en glucosa) a una dilución 10^{-1} . Se inocula un matraz de 500 mL con 200 mL de medio líquido PD (0,2% en glucosa) con 4 discos de micelio de 5 mm de diámetro, de los distintos hongos fitopatógenos ensayados y se incubó a 25 °C y 150 rpm en un agitador orbital durante 96 h. El volumen necesario de inóculo se multiplicó en función del número de macetas a enriquecer. La inoculación del fitopatógeno se realizó en el estado de apunte de primera hoja verdadera mediante el riego al sustrato de una unidad de inóculo en cada maceta. La unidad de inóculo consistió en 100 mL de una dilución 1:10 del cultivo obtenido. Las unidades experimentales más complejas estaban compuestas por bandejas con 8 macetas cada una, distribuyéndose al azar los distintos antagonistas ensayados: 7 (*Burkholderia glumae*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Corynebacterium pseudodiphtheriticum*, *Corynebacterium jeikeium*, *Fusarium solani*, *Aspergillus parasiticus* y *Aspergillus fischerianus* en el caso de los ensayos *Rhizoctonia solani* en rábano, *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* en melón, y *Phytophthora parasitica* en tomate. En el caso *Pythium aphanidermatum* en pepino, dado que sólo se evaluaron dos antagonistas (*Aspergillus parasiticus* [antagonista nº 13] y *Aeromonas hydrophila* [70]), la unidad experimental fue más reducida. Las macetas se colocaron en las bandejas sobre placas de Petri que evita la posibilidad de contacto entre los lixiviados de macetas

vecinas. Las plantas se regaron con una frecuencia y módulo de riego adaptado al estado de desarrollo, hasta el final del ensayo y fueron fertirrigadas en riegos alternos con el fertilizante comercial complejo (Hakaphos verde 15.10.15 2 MgO Compo), aplicado a una concentración de 2 g/L. La evaluación de la incidencia de la enfermedad se realizó a lo largo de 45-50 días, realizando 4 lecturas del ensayo. La severidad de los síntomas se clasificaron en cuatro categorías: 1. Planta muerta; 2. Planta con daños muy severos; 3. Manifestación de síntomas moderados y 4. Planta sana. Tras la eliminación de todas las plantas del ensayo, se realizó una segunda siembra sobre el mismo sustrato donde se realizó la primera siembra, igualmente con semillas pregerminadas. A éstos no se le realizó ninguna aplicación más, ni de antagonista ni de fitopatógeno. Se sigue el mismo procedimiento y se añadió una categoría más en el análisis de severidad de la enfermedad: 5, no emergencia de la plántula. Los valores de severidad de la enfermedad de las distintas plantas presentes en una misma maceta fueron transformados en un índice de enfermedad. Finalmente, se realizó el tratamiento estadístico con el programa STATGRAPHICS 5.1 (SGS. 2001).

Resultados

Evaluación *in vivo* de la capacidad supresora del compost de orujo de vid

Para determinar la supresividad natural del compost en los ensayos *in vivo*, se emplearon las especies vegetales antes indicadas crecidas en distintos sustratos (compost sin tratar, compost tratado térmicamente durante 6 días a 60 °C y vermiculita esterilizada en autoclave), inoculados con los distintos patógenos.

La forma de realizar la inoculación de los patógenos en los distintos ensayos es un hecho de notable influencia en la valoración de la supresividad natural del compost. En la bibliografía no encontramos unos procedimientos definidos y aceptados por todos los autores para la evaluación de la supresividad natural de los compost, existiendo notables diferencias tanto en la forma de multiplicar los inóculos patógenos, como en la forma y dosis de aplicación de los mismos en estos ensayos. Este hecho dificulta la comparación de la valoración de los compost obtenidas en distintos trabajos. Así, autores como Gorodecki & Hadar (1990) evalúan la supresividad natural frente a *Rhizoctonia solani* del compost de orujo de vid, empleando turba como sustrato testigo y utilizando dosis de inóculo que llegan a producir una mortandad superior al 80% en los testigos. Erhart *et al.* (1999) evalúan la supresividad frente a *Pythium ultimum*, de 16 compost de residuos sólidos orgánicos urbanos y de un compost de orujo de vid (en proporción 30:70 compost y sustrato turba con arena), empleando también una mezcla 2:1 (v/v) turba y arena como sustrato testigo y alcanzando un mortandad en los testigos del 60%. Avilés (1998), cuando evalúa la su-

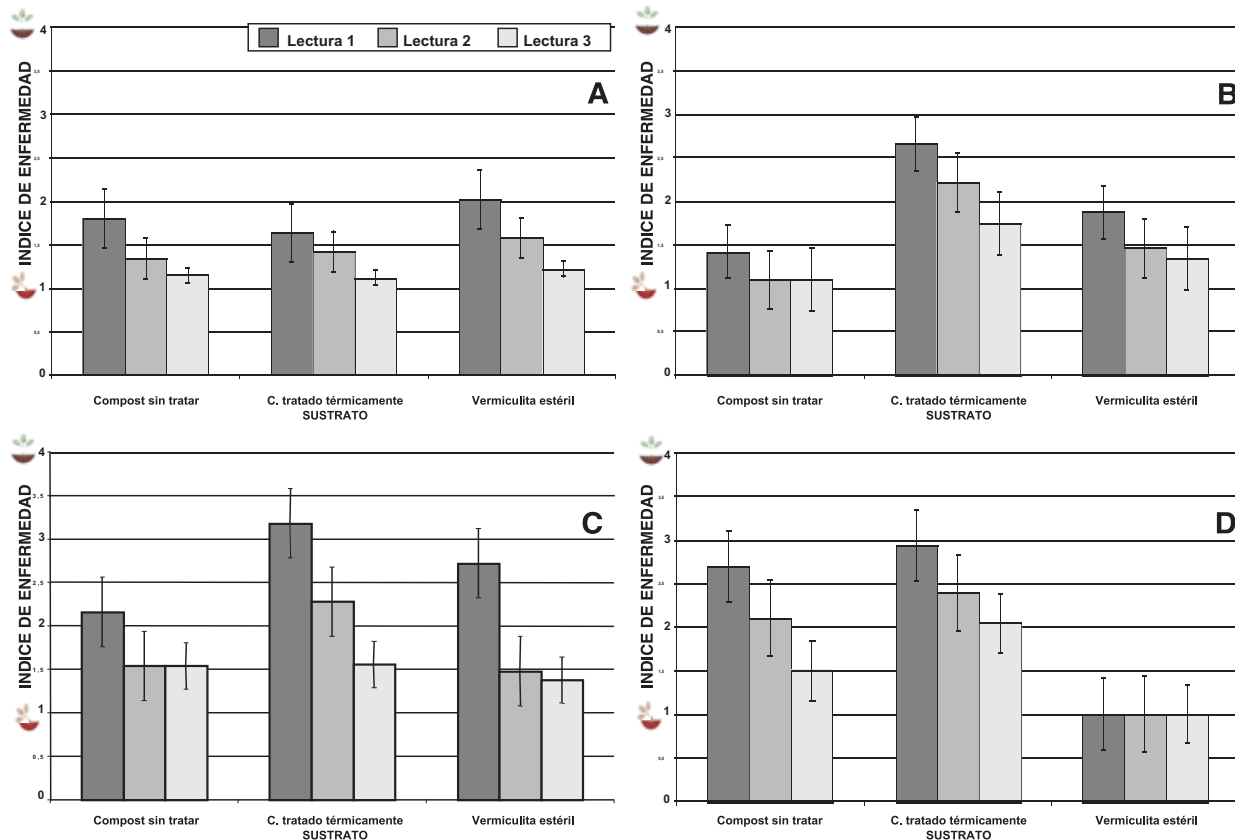


Figura 1. Índice medio de enfermedad obtenido de las tres lecturas realizadas en plantas de tomate inoculadas con *Phytophthora parasitica* en los distintos sustratos. A. Primer ensayo, B. Resiembra primer ensayo, C. Segundo ensayo y D. Resiembra segundo ensayo.

presividad natural del compost de residuos industrial del corcho frente a *Pythium aphanidermatum* y *Rhizoctonia solani* obtiene un mortandad inferior al 20 % en los testigos en turba. Por otra parte, Mandelbaum & Hadar (1990) emplean para la multiplicación del inóculo, turba inoculada con *Pythium aphanidermatum*, en la que tras tres siembras sucesivas de pepino, alcanzan un 90-100% de plantas enfermas. Esta turba se resuspende en 250 mL de agua y añadida la suspensión al sustrato a ensayar a razón de 2000 UFC·L⁻¹. Theodore & Toribio (1995) emplean para la multiplicación de *Pythium aphanidermatum* medio agarizado de harina de avena. Tras 15 días de crecimiento depositan en un matraz en agitación durante 2 horas el contenido de una placa con 250 mL de agua; posteriormente, se filtra y se ajusta la concentración de oosporas, añadiendo el inóculo a razón de 8000 oosporas·L⁻¹.

Dado que se pretendía evaluar la supresividad del

compost de orujo de vid, para poder recomendar su utilización en los sistemas de producción vegetal intensivos, consideramos que el procedimiento de evaluación debe ser lo suficientemente severo, como para que, en caso de obtener resultados favorables, éstos no puedan atribuirse al empleo de dosis de inóculos reducidas. Al emplear este criterio se corre el riesgo de no permitir la expresión de las distintas receptividades de los sustratos al aportar un potencial de inóculo tan elevado. Esta consideración ya fue enunciada por Avilés (1998) en los ensayos realizados con las distintas *formae speciales* de *Fusarium oxysporum* en distintos sustratos. La evolución de la enfermedad durante los distintos ensayos fue registrada en tres ocasiones. Los resultados obtenidos, -transformados en índice de enfermedad, de cada lectura realizada en cada ensayo, con cada uno de los patosistemas-, fueron sometidos a un análisis de la varianza simple considerando los factores sustrato y antagonista inoculado.

Tabla 2. Resumen de los valores de p obtenidos en los distintos análisis de la varianza de los valores medios del índice de enfermedad causada por *Phytophthora parasitica* en los distintos sustratos.

LECTURA	VALOR p OBTENIDO EN EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA CON LOS ENSAYOS			
	1º	1º Resiembra	2º	2º Resiembra
1	0,7346	0,0395	0,2353	0,0113
2	0,7661	0,0992	0,3226	0,0965
3	0,7060	0,4643	0,8730	0,1351

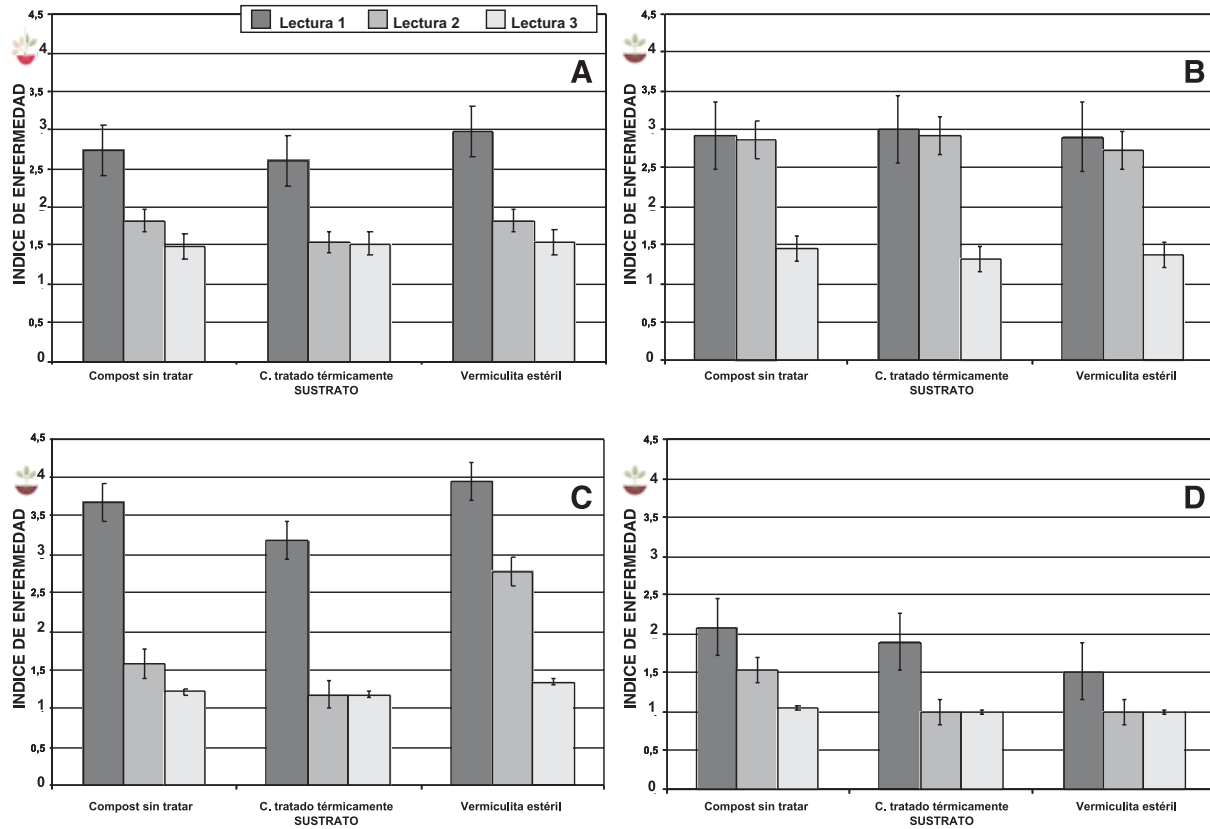


Figura 2. Índice medio de enfermedad obtenido de las tres lecturas realizadas en plantas de melón inoculadas con *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum* en los distintos sustratos. Arriba a la izquierda el 1er ensayo y a la derecha la resiembra, y abajo el 2º ensayo con su resiembra a la derecha.

Los resultados obtenidos en los testigos inoculados en los distintos ensayos en los cuatro modelos estudiados, se muestran a continuación en las siguientes figuras y tablas. En las figuras 1, 2, 3, y 4, se puede apreciar el índice medio de enfermedad junto con el error estándar obtenido en las distintas lecturas realizadas en las distintas repeticiones de cada ensayo. En las tablas 2, 3, 4, y 5, aparecen los valores críticos (valor $-p$) obtenidos en los distintos análisis simples de la varianza realizados considerando el factor sustrato, en las lecturas realizadas en las distintas repeticiones de cada ensayo, para un nivel de significación del 0,05.

El análisis de la varianza considerando el factor sustrato de los ensayos con *Phytophthora parasitica* (Tabla 2, Fig. 1), puso de manifiesto la ausencia de influencia del factor sustrato en la expresión de la enfermedad, en todos los ensayos realizados. Los resultados de la prueba de rango múltiple de Duncan para tres de los ensa-

yos realizados indican que no hubo diferencias mínimas significativas (LSD 95%) entre el valor medio de índice de enfermedad obtenido en las inoculaciones en los distintos sustratos. En la resiembra del segundo ensayo hubo diferencias mínimas significativas a favor del compost tratado térmicamente, respecto a la vermiculita. A pesar de ésto, al finalizar el ensayo se obtuvo también en el compost tratado térmicamente un índice medio de enfermedad poco favorable (2,04). La supervivencia media de plantas sanas al finalizar los distintos ensayos en los testigos inoculados con *Phytophthora parasitica* fue muy reducida en todos los sustratos. El valor más elevado alcanzado, rondó el 20% de las plantas en los dos ensayos mediante resiembra en compost tratado térmicamente. No se observaron diferencias mínimas significativas (LSD 95%) entre el valor medio de índice de enfermedad obtenido en las plantas testigos inoculadas con el patógeno y las inoculadas con los distintos

Tabla 3. Resumen de los valores de p obtenidos en los distintos análisis de la varianza de los valores medios del índice de enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-cucumerinum* en los distintos sustratos.

LECTURA	VALOR p OBTENIDO EN EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA CON LOS ENSAYOS			
	1º	1º Resiembra	2º	2º Resiembra
1	0,7020	0,8250	0,1229	0,5569
2	0,3196	0,8725	0,0001	0,0509
3	0,9611	0,8246	0,0306	0,3966

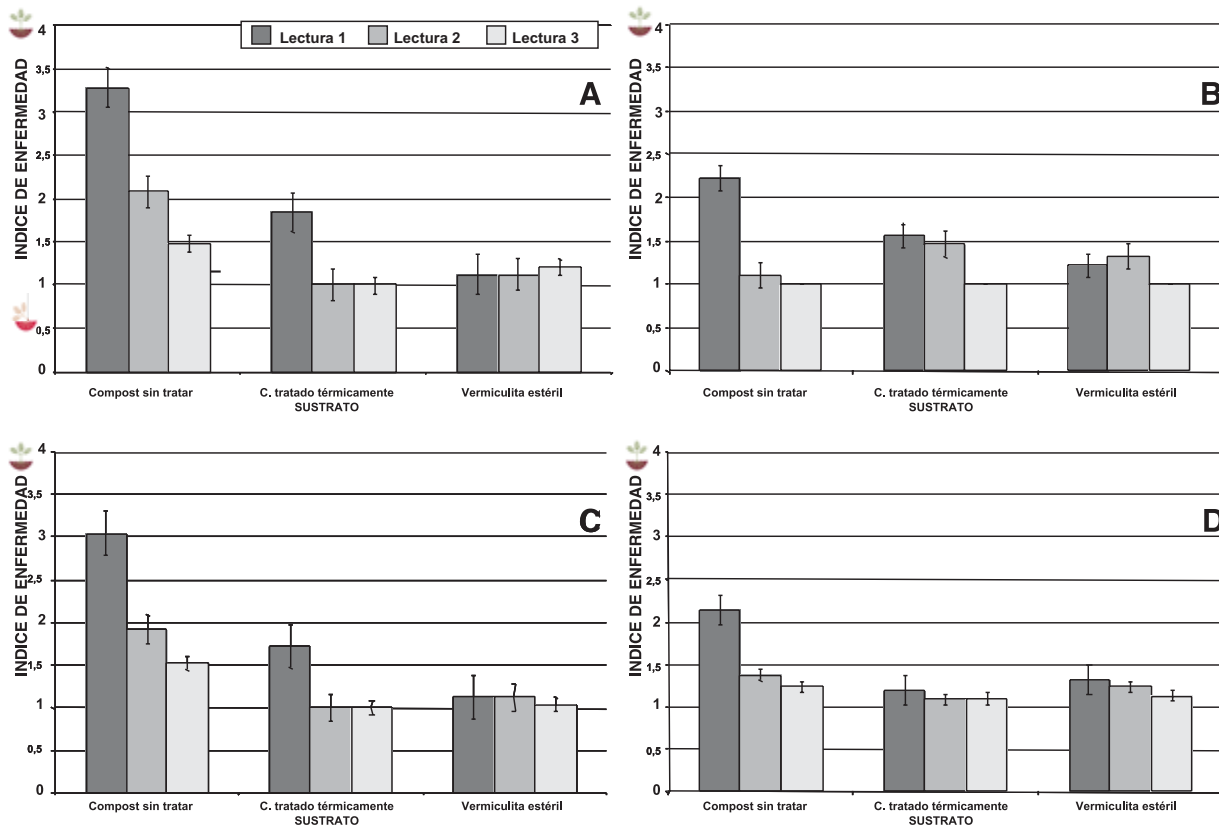


Figura 3. Índice medio de enfermedad obtenido de las tres lecturas realizadas en plantas de rábano inoculadas con *Rhizoctonia solani* en los distintos sustratos. A. Primer ensayo, B. Resiembra primer ensayo, C. Segundo ensayo y D. Resiembra segundo ensayo.

antagonistas más patógeno (datos no mostrados), por lo que se pone de manifiesto la ausencia de influencia del factor antagonista inoculado al medio en la expresión de la enfermedad. Los ensayos realizados con el modelo *Phytophthora parasitica*-tomate, empleando el compost de orujo de vid como sustrato indican la ausencia de supresividad natural en el mismo frente a este patógeno. Aunque esta supresividad natural ha sido encontrada en otros materiales compostados, como en compost de corteza de frondosas (Hardy & Sivasithamparam 1991) y de estiércol de ganado (Szczecz et al. 1993).

El análisis de la varianza considerando el factor sustrato de los ensayos con *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* (Tabla 3, Fig. 2), puso de manifiesto la ausencia de influencia del factor sustrato en la expresión de la enfermedad, en tres de los cuatro ensayos realizados. Los resultados de la prueba de rango múltiple de Duncan para tres de los ensayos realizados indican

que no hubo diferencias mínimas significativas (LSD 95%) entre el valor medio de índice de enfermedad obtenido en las inoculaciones en los distintos sustratos. Sólo en el segundo ensayo hubo diferencias mínimas significativas a favor de la vermiculita. A pesar de esto al finalizar el ensayo se obtuvo también en vermiculita un índice medio de enfermedad muy poco favorable (1,34). La supervivencia media de plantas sanas al finalizar los distintos ensayos en los testigos inoculados con *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* fue muy reducida en todos los sustratos, prácticamente el 100% de las plantas inoculadas murieron. El valor más elevado de supervivencia alcanzado (y el único) fue del 8% en el ensayo de resiembra 1° en vermiculita. Los resultados obtenidos de los distintos análisis de la varianza considerando los factores sustrato y antagonista muestran de nuevo la total ausencia del factor antagonista inoculado al medio (datos no mostrados).

Tabla 4. Resumen de los valores de p obtenidos en los distintos análisis de la varianza de los valores medios del índice de enfermedad causada por *Rhizoctonia solani* en los distintos sustratos.

LECTURA	VALOR p OBTENIDO EN EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA CON LOS ENSAYOS			
	1°	1° Resiembra	2°	2° Resiembra
1	0,0001	0,0008	0,0009	0,0046
2	0,0024	0,2628	0,0037	0,0278
3	0,0122	-	0,0011	0,3877

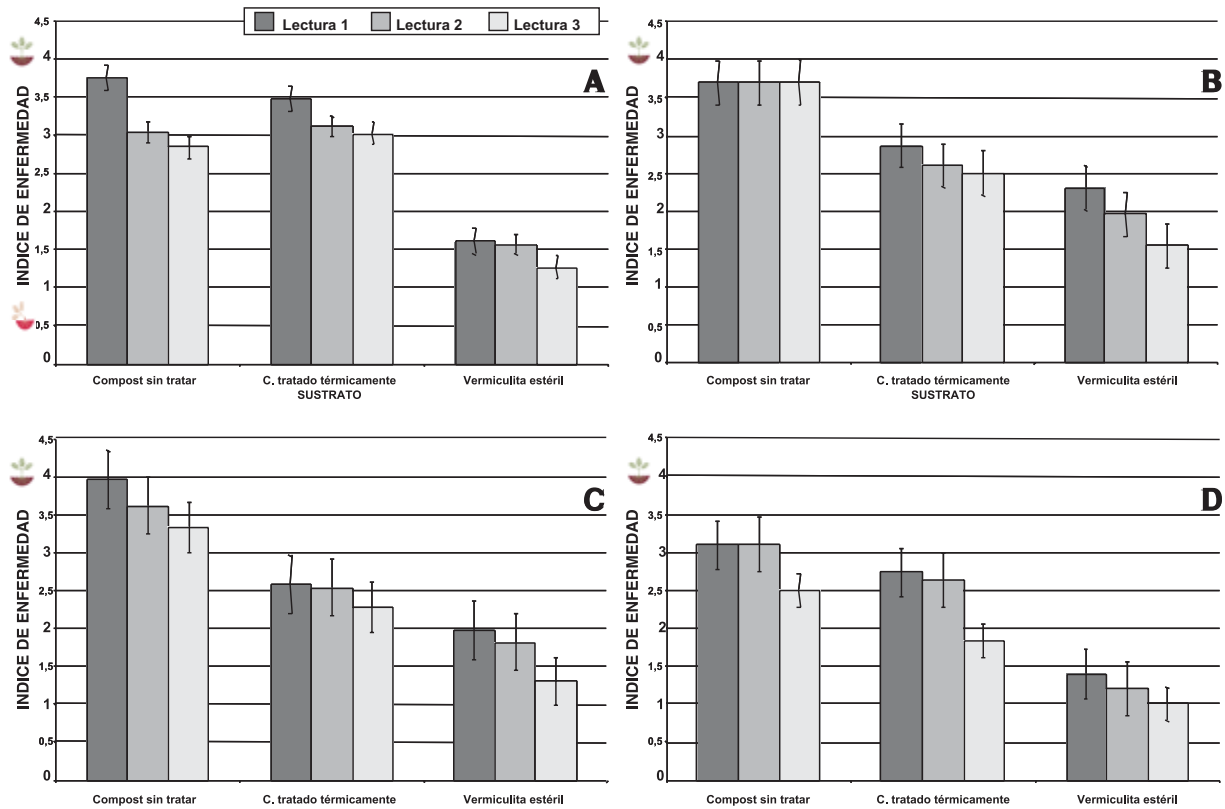


Figura 4. Índice medio de enfermedad obtenido de las tres lecturas realizadas en plantas de pepino inoculadas con *Pythium aphanidermatum* en los distintos sustratos. A. Primer ensayo, B. Resiembra primer ensayo, C. Segundo ensayo y D. Resiembra segundo ensayo.

Los ensayos realizados con el patosistema *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*-melón, empleando el compost de orujo de vid como sustrato no ponen de manifiesto la existencia de supresividad natural en el mismo frente a este patógeno. Aunque la supresividad natural frente a diferentes formas especializadas de *Fusarium oxysporum* ha sido encontrada en compost de corteza de frondosas (Chef *et al.* 1983, Cebolla & Pera 1983, Trillas-Gay *et al.*, 1986, Hoitink *et al.* 1991), corteza de pino (Chef *et al.*, 1983, Couteaudieud *et al.* 1987, Pera & Calvet 1989), orujo de aceituna (Pera & Calvet, 1989) y estiércol de ganado (Garibaldi 1988, Szczech *et al.* 1993).

En el análisis de la varianza considerando el factor sustrato para los ensayos con *Rhizoctonia solani* (Tabla 4, Fig. 3), se observa la influencia del factor sustrato, en la expresión de la enfermedad, en los ensayos inoculados en estado de plántulas, pero no en las resiembras de es-

tos ensayos. No se detectaron diferencias mínimas significativas (LSD 95%), entre los valores medios del índice de enfermedad, en los ensayos realizados mediante resiembra, aunque si se obtuvieron diferencias significativas, entre el compost sin tratar y los otros dos sustratos, en los dos ensayos realizados mediante inoculación en plántulas. No obstante, la incidencia de la enfermedad al finalizar los ensayos fue muy elevada, alcanzándose en el sustrato más favorable (compost sin tratar) en los ensayos inoculados en plántulas, unos índices finales medios de enfermedad de 1,48 y 1,52. La supervivencia media de plantas sanas al finalizar los distintos ensayos en los testigos inoculados con *Rhizoctonia solani* fue muy reducida en todos los sustratos. La mayoría de las plantas inoculadas murieron; el valor más elevado de supervivencia alcanzado fue del 4% en el ensayo de 1º y 2º en compost sin tratar y 1º en vermiculita. Igualmente, los resultados obtenidos de los distintos análisis de la va-

Tabla 5. Resumen de los valores de p obtenidos en los distintos análisis de la varianza de lo valores medios del índice de enfermedad causada por *P. aphanidermatum* en los distintos sustratos.

LECTURA	VALOR p OBTENIDO EN EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA CON LOS ENSAYOS			
	1º	1º Resiembra	2º	2º Resiembra
1	0,0000	0,0157	0,0088	0,0067
2	0,0000	0,0046	0,0163	0,0072
3	0,0000	0,0009	0,0030	0,0015

rianza considerando los factores sustrato y antagonista inoculado puso de manifiesto la ausencia de influencia del factor antagonista y sustrato empleado en la expresión de la enfermedad (datos no mostrados). Los ensayos realizados con el patosistema *Rhizoctonia solani*-rábano, empleando el compost de orujo de vid como sustrato, no ponen de manifiesto la existencia de supresividad natural en el mismo frente a la caída de plántulas causada por este patógeno. Aunque esta supresividad natural ha sido encontrada en compost de corteza de frondosas (Daft *et al.* 1979, Stephens *et al.* 1981, Nelson & Hoitink 1982, 1983, Kuter *et al.* 1983, Stephens & Stebbins 1985), de residuos sólidos urbanos (Mathot 1987), de estiércol de ganado (Gorodecki & Hadar 1990) y compost de orujo de vid (Gorodecki & Hadar 1990). En este último trabajo evalúan la supresividad del compost de orujo de vid utilizando también el modelo *Rhizoctonia solani*-rábano, obteniendo una supervivencia superior al 90% en este sustrato y tan sólo un 20% en los testigos en turba. Gorodecki & Hadar (1990) realizan la multiplicación del inóculo en dos medios distintos, uno el medio CPS de Ko & Hora (1971) (mezcla de suelo y patatas troceadas) y otro en medio YEB (caldo de extracto de levadura). El procedimiento de inoculación lo realizan con una dosis máxima de inóculo de 155 propágulos·L⁻¹ de sustrato y otro ensayo añadiendo el cultivo en YEB a razón de 20 g·L⁻¹ de sustrato. En los ensayos que hemos realizado en este trabajo se ha inoculado mediante riego al sustrato con una dosis de inóculo posiblemente (dada la imprecisión en este aspecto del trabajo publicado por estos autores) superior, añadiendo 10 mL·maceta del inóculo, crecido en PD modificado durante 96 horas, siendo el volumen de sustrato en cada maceta de 275 mL. Esta puede ser una posible justificación del diferente comportamiento del compost de orujo de vid frente a *Rhizoctonia solani*, hallada entre nuestro compost y el de estos autores. Otra posible justificación la podemos encontrar en la variabilidad en la supresión de *Rhizoctonia solani*, que puede existir entre distintos compost de un mismo material.

Los ensayos realizados con el patógeno *Pythium aphanidermatum*, han sido los que han dado unos resultados más satisfactorios. El análisis de la varianza del índice de enfermedad considerando el factor sustrato de estos ensayos (Tabla 5, Fig. 4), puso de manifiesto la influencia del factor sustrato en la expresión de la enfermedad, en todos los ensayos y lecturas realizados.

Los resultados de la prueba de rango múltiple de Duncan, indican que hubo diferencias mínimas significativas (LSD 95%) entre el valor medio de índice de enfermedad obtenido en las inoculaciones en los distintos sustratos. En todos los ensayos y lecturas hubo diferencias significativas, entre los resultados en compost sin tratar y vermiculita. En 3 de los ensayos hubo diferencias significativas entre el compost tratado térmicamente y la vermiculita. Los índices medios de enfermedad de la última lectura en el compost sin tratar fueron 2,84, 3,70,

3,34 y 2,50. La supervivencia media de plantas sanas al finalizar los distintos ensayos en los testigos inoculados con *Pythium aphanidermatum* fue significativamente distinta en los distintos sustratos, siendo los valores medios de los cuatro ensayos del 11%, 44% y 65% respectivamente para los sustratos vermiculita, compost tratado térmicamente y compost sin tratar.

Asimismo, el análisis de la varianza considerando los factores sustrato y antagonista de los ensayos con *P. aphanidermatum* (Fig. 5), puso de manifiesto la influencia del factor antagonista inoculado, en concreto la adición del antagonista *Aeromonas hydrophila* [70], en la expresión final de la enfermedad en los ensayos realizados mediante inoculación en estado de plántula, pero no así en los de resiembra. En la inoculación en estado de plántula, empleando vermiculita como sustrato se obtuvo una menor expresión de la enfermedad (LSD 95%) cuando el sustrato era enriquecido con *A. hydrophila*, pero no ocurrió en la resiembra. Cuando se empleó el compost tratado térmicamente, no se detectaron diferencias mínimas significativas entre sustrato enriquecido y sin enriquecer, en los ensayos realizados en resiembra pero sí en los ensayos realizado mediante inoculación en estado de plántula, obteniéndose una menor incidencia de la enfermedad respecto al testigo sin enriquecer.

Estudios realizados en suelos y sustratos compostados supresivos a enfermedades producidas por especies del género *Pythium*, han puesto de manifiesto la importancia que la comunidad microbiana, presente en ellos, tiene tanto sobre el patógeno, como sobre el desarrollo de la enfermedad. El efecto supresivo se produce más por la acción conjunta de la comunidad microbiana, que por la acción individual de un microorganismo concreto; así microorganismos antagonistas asilados de un suelo supresivo (Lumsden 1987) o de una mezcla de sustratos supresivos (Boehm & Hoitink, 1992), no inducen el mismo grado de supresividad del sustrato de partida, cuando son inoculados a un sustrato conductivo (McKellar & Nelson 2003). Los resultados obtenidos en nuestras inoculaciones sobre el sustrato conductivo vermiculita, corroboran las afirmaciones de estos autores. Aunque la adición de *Aeromonas hydrophila*, se traduce en una menor expresión de la enfermedad en los ensayos inoculados en planta, ésta no es comparable con la que se detecta en el compost de orujo de vid sin tratar térmicamente. Por lo que podemos suponer al igual que hace Lumsden (1987) que el efecto supresivo se produce más por la acción conjunta de la comunidad microbiana, y no por la acción individual de un microorganismo. Por tanto, y como conclusión, los ensayos realizados con el modelo *Pythium aphanidermatum*-pepino, empleando el compost de orujo de vid como sustrato, ponen de manifiesto la existencia de supresividad natural en el mismo frente a este patógeno.

La supresividad natural del compost de orujo de

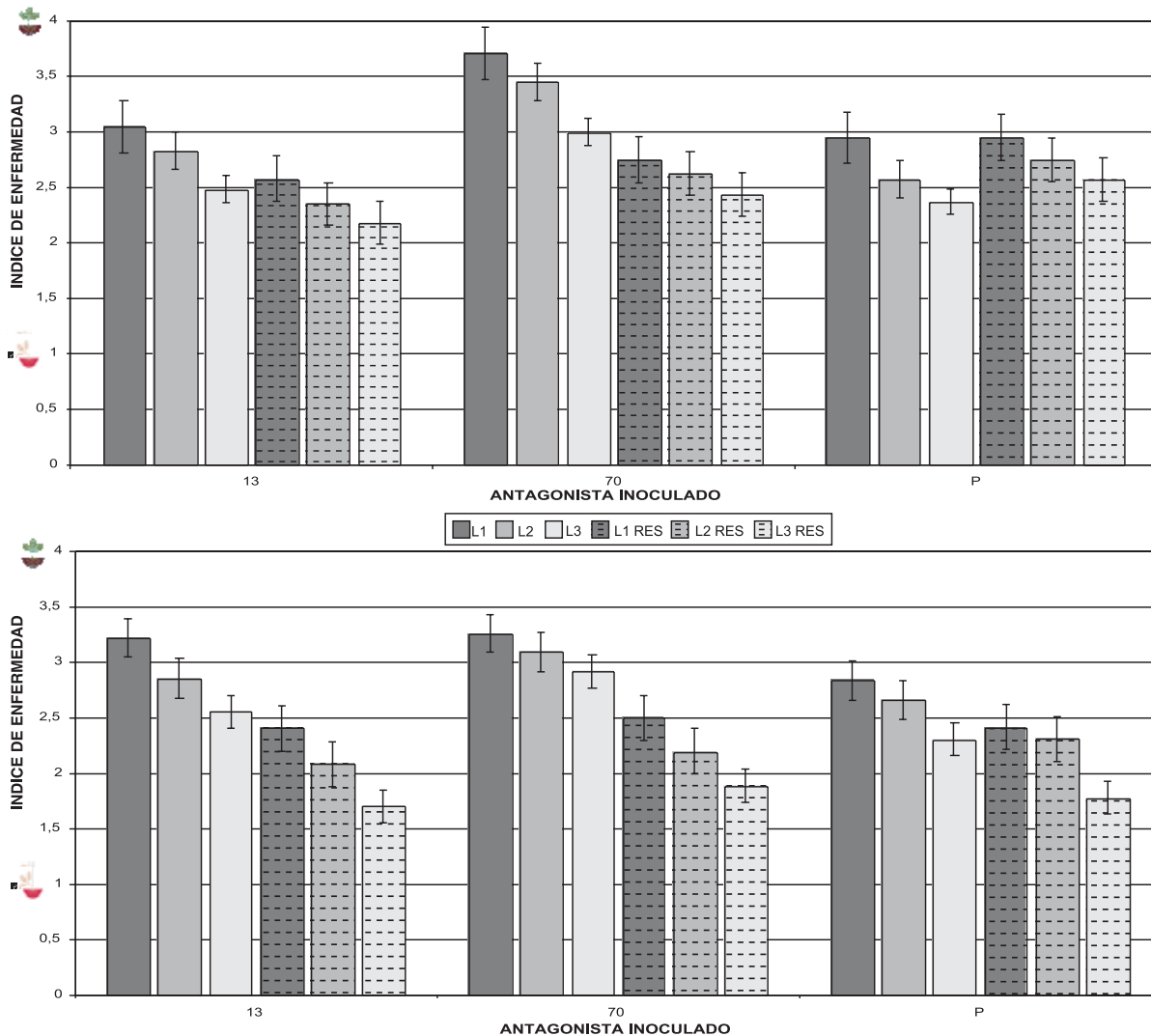


Figura 5. Índice medio de enfermedad obtenido tras análisis multifactorial (factores: sustrato y antagonistas) de las tres lecturas realizadas en plantas de pepino inoculadas con *Pythium aphanidermatum* en los distintos sustratos enriquecidos con los distintos antagonistas. Arriba el 1er ensayo y su resiembra, y abajo el 2º ensayo con su resiembra.

vid frente *Pythium aphanidermatum* fue ya descrita en trabajos realizados en Israel (Mandelbaum *et al.* 1988). En estos trabajos, la supresividad desaparece cuando el sustrato es esterilizado en autoclave, y es recuperada cuando se mezcla el compost esterilizado con un compost no esterilizado. Este es el procedimiento que habitualmente se emplea para confirmar la naturaleza biológica de los fenómenos de supresividad de los suelos o sustratos. Cuando someten el compost a un ligero tratamiento térmico (55 °C durante 2 horas), la supresividad se ve ligeramente mejorada (Mandelbaum *et al.*, 1988). En nuestro ensayo el tratamiento térmico realizado ha sido sustancialmente diferente (60 °C durante 6 días), y a pesar de lo prologando del mismo, la supervivencia en el compost tratado térmicamente ha sido 4 veces superior a la obtenida en los testigos en vermiculita, aunque menor que en el compost sin tratamiento (11, 44 y 65% para los sustratos vermiculita, compost tratado térmicamente y compost sin tratar, respectivamente). Erhart *et al.* (1999) consideran con-

ductivo a la mezcla compost de orujo de vid en proporción 30:70 compost:turba con arena, en los ensayos realizados frente a *Pythium ultimum*. La supervivencia media en las plantas inoculadas en la mezcla con compost de orujo de vid fue del 28%, mientras que la del sustrato testigo (mezcla 2:1 (v/v) turba y arena) fue del 40%. En la valoración de estos resultados hay que considerar que obtienen una supervivencia relativamente baja, 78% en los testigos desarrollados en compost de orujo de vid, sin inocular el patógeno.

Los resultados de los ensayos *in vivo* con los distintos sustratos muestran como tan sólo con el patógeno *Pythium aphanidermatum*, se observa reducción importante de la manifestación de la enfermedad de las plantas crecidas en el compost de orujo de vid, siendo esta reducción mayor, en el compost no tratado térmicamente que en el sometido a 6 días de tratamiento en estufa a 60°C. Este hecho indica que la componente biológica del compost de orujo de vid juega un papel importante, aunque no sea el único factor a considerar, en

la manifestación de la supresividad natural de la caída de plántulas originada por *Pythium aphanidermatum*.

Los resultados obtenidos con los otros tres patógenos estudiados, ponen de manifiesto la ausencia de supresividad natural frente a ellos del compost, al menos en las condiciones ensayadas. Consideramos que la metodología que se ha seguido para realizar las inoculaciones, ha tenido una gran importancia en los resultados finales del ensayo, especialmente, debido a la naturaleza de los patógenos ensayados, con importantes capacidades parasitarias sobre estructuras fundamentales de las plantas como el sistema radicular, el cuello o el tallo. Uno de los objetivos que planteamos en la metodología de trabajo, fue realizar una inoculación, lo suficientemente severa, como para lograr una mortandad de plantas importante en los testigos en vermiculita, aspecto anteriormente discutido en este mismo apartado. No obstante tras la realización de los ensayos debemos realizar ciertas puntualizaciones: el procedimiento de inoculación seguido ha sido demasiado severo fundamentalmente por el método de adición del inóculo al medio. La inoculación de los patógenos se realizó mediante riego directo a las macetas, en las cuales ya se estaban desarrollando las plantas, lo que da lugar a que se produzca un contacto directo entre las plantas y los patógenos, que evidentemente favorece el desarrollo de la enfermedad. Los ensayos mediante resiembra, que en cierto modo pretendían mitigar el factor de la falta de tiempo para que se produzca la interacción entre el patógeno y el sustrato, han podido verse influenciado por múltiples factores, como la posible multiplicación del inóculo del patógeno sobre el material vegetal, la existencia de restos vegetales y exudados radiculares, etc. Posiblemente los resultados obtenidos habrían podido ser diferentes, introduciendo ciertas modificaciones en el procedimiento del ensayo, posiblemente la inoculación previa y con cierta anticipación del patógeno sobre el sustrato, y como sucede en la producción comercial hortícola el trasplante de las plántulas ya desarrolladas a los contenedores. Sin embargo, la casuística estudiada puede tener una relación directa con la producción de plántulas hortícolas en semilleros comerciales, donde algunos patógenos como *Pythium* o *Phytophthora* están presentes en el agua de riego (de Cara *et al.* 2004).

Referencias

- Avilés M. 1998. El residuo industrial de corcho como sustrato hortícola: su capacidad para regular la expresión de los hongos fitopatógenos del suelo. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.
- Baker KF. 1957. The UC system for producing healthy container-grown plants. Calif. Agric. Exp. Stn. Man. 23.
- Blaker NS, MacDonald JD. 1983. Influence of container medium pH on sporangium formation, zoospore release, and infection of rhododendron by *Phytophthora cinamomi*. Plant Disease 67: 259-263.
- Boehm MJ, Hoitink HAJ. 1992. Sustenance of microbial activity in potting mixes and its impact on severity of *Pythium* root rot of poinsettia. Phytopathology 82: 259-264.
- Boehm MJ, Madden LV, Hoitink HAJ. 1993. Effect of organic matter decomposition level on bacterial species diversity and composition in relationship to *Pythium* damping-off severity. Applied Environmental Microbiology 59: 4171-4179.
- Campbell R. 1994. Biological control of soil-borne diseases: some present problems and different approaches. Crop protection 13: 4-13.
- Cebolla V, Pera J. 1983. Suppressive effects of certain soil and substrates against *Fusarium* wilt of carnation. Acta Horticulturae 150: 113-119.
- Chef DG, Hoitink HAJ, Madden LV. 1983. Effects of organic components in container media on suppression of *Fusarium* wilt of chrysanthemum and flax. Phytopathology 73: 279-281.
- Chellemi DO, Olso SM, Mitdhell DJ. 1994. Effects of soil solarization and fumigation on survival of soil-borne pathogens of tomato in northern Florida. Plant Disease 78: 1167-1172.
- Chen W, Hoitink HAJ, Schmitthenner AF. 1987. Factors affecting suppression of *Pythium* damping-off in container media amended with composts. Phytopathology 77: 755-760.
- Chen W, Hoitink HAJ, Madden LV. 1988. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. Phytopathology 78: 1447-1450.
- Cook RJ, Baker KF. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. Third printing (Ed.) APS Pres, St. Paul, Minnesota.
- Couteaudiey Y, Louvet J, Alabouvette C. 1987. Les problèmes pathologiques en culture hors sol. En Les cultures hors sol. Second (ed.) INRA Publications, Versailles, pp. 321-332.
- Craft CM, Nelson EB. 1996. Microbial properties of composts that suppress damping-off and root rot of creeping bentgrass caused by *Pythium graminicola*. Applied and Environmental Microbiology 62: 1550-1557.
- Daft GC, Poole HA, Hoitink HAJ. 1979. Composted hardwood bark: A substitute for steam sterilization and fungicide drenches for control of poinsettia crown root rot. HortScience 14: 185-187.
- De Cara M, Tello JC, Sánchez JA. 2004. Patógenos de origen telúrico que están presentes en los cultivos sin suelo. Phytoma España 158: 34-44.
- Erhart E, Burian K, Hartl W, Stich K. 1999. Suppression of *Pythium ultimum* by biowaste composts in relation to compost microbial biomass, activity and content of phenolic compounds. Journal of Phytopathology 147: 299-305.
- Fahy PC, Pike D, Hewitt M. 1995. Biological suppression

- of fungal diseases in container media: development of fundamental standards. Final report to rural industries Tand Corporation, NSW Agriculture, Rydalmere.
- Garibaldi A. 1988. Research on substrates suppressive to *Fusarium oxysporum* and *Rhizoctonia solani*. Acta Horticulturae 221:271-277.
- Gorodecki B, Hadar Y. 1990. Suppression of *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* diseases in container media containing composted separated cattle manure and composted grape marc. Crop protection 9: 271-274.
- Gugino JL, Pokorny FA, Hendrix FFJ. 1973. Population dynamic of *Pythium irregulare* Buis. in container plant production as influenced by physical structure of media. Plant and Soil 39: 591-602.
- Gullino ML, Garibaldi A. 1990. Terreni e substrati repressivi nei confronti di funghi fitopatogeni. Panorama Floricolo 15: 1-8.
- Hardy GESJ, Sivasithamparan K. 1991. Suppression of *Phytophthora* root rot by a composted Eucalyptus bark mix. Australian Journal of Botany 39: 153-159.
- Hoitink HAJ 1980. Composted bark, a lightweight growth medium with fungicidal properties. Plant Disease 64: 142-147.
- Hoitink HAJ, Boehm MJ, Hadar Y. 1993a. Mechanism of suppression of soilborne plant pathogens in compost amended substrates. In Science and engineering of composting: desing, environmental, microbiological and utilization aspects (Hoitink HAJ, Keener HM, eds.). Worthington. Ohio: Renaissance Publications, pp. 601-621.
- Hoitink HAJ, Inbar Y, Boehm MJ. 1993b. Compost can suppress soilborne diseases in container media. American Nurseryman 178:91-94.
- Hoitink HAJ, Boehm MJ. 1999. Biocontrol with the context of soil microbial communities: A substrate-Dependent Phenomenon. Annual Review of Phytopathology 37: 427-446.
- Hoitink HAJ, Fahy PC. 1986. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. Annual Review of Phytopathology 24: 93-114.
- Hoitink HAJ, Inbar Y, Boehm MJ. 1991. Status of compost amended potting mixes naturally suppressive to soilborne diseases of floricultural crops. Plant Disease 75: 869-873.
- Hoitink HAJ, Kuter GA. 1986. Effects of composts in growth media on soilborne pathogens. In The role of organic matter in modern agriculture (Chen Y, Avnimelech Y, eds.). Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhogg Publishers, pp. 289-306.
- Hoitink HAJ, Madden LV, Boehm MJ. 1996a. Relationship among organic matter decomposition level, microbial species diversity and soilborne disease severity. In Principles and practice of managing soilborne plant pathogens (Hall R, ed.). St. Paul Minnesota: APS Press, pp. 237-249.
- Hoitink HAJ, Schnitthener AF, Herr LJ. 1975. Composted bark for control of root rot in ornamentals. Ohio Reporter 60: 25-26.
- Hoitink HAJ, van Doren HM, Schmitthener AF. 1977. Suppression of *Phytophthora cinnamomi* in a composted hardwood bark potting medium. Phytopathology 67: 561-565.
- Jiménez-Díaz RM. 1990. Bases teóricas en la lucha contra las enfermedades causadas por hongos del suelo en los ambientes mediterráneos continentales. Cuadernos de Fitopatología. Especial 205-210.
- Kavanagh T. 1972. Disease considerations in relation to crop production on peat soils. Scientif. Hort. 24:73-79.
- Ko W, Hora FK. 1971. A selective medium for the quantitative determination of *Rhizoctonia solani* in soil. Phytopathology 61: 707-710.
- Krause MS, Musselman CA, Hoitink HAJ. 1997. Impact of sphagnum peat decomposition level on biological control of *Rhizoctonia* damping-off of radish induced by *Flavobacterium balustinum* 299 and *Trichoderma hamatum* 382. Phytopathology 87: S55 (ABSTR.).
- Kuter GA, Nelson EB, Hoitink HAJ, Madden LV. 1983. Fungal populations in container media amended with composted hardwood bark suppressive and conductive to *Rhizoctonia* damping-off. Phytopathology 73: 1450-1456.
- Lockwood JL. 1988. Evolution of concepts associated with soilborne plant pathogens. Annual Review of Phytopathology 26: 93-121.
- Lumsden RD, Lewis JA, Milner PD. 1983. Effect of composted sewage sludge on several soilborne pathogens and diseases. Phytopathology 73: 1543-1548.
- Lumsden RD. 1987. Suppression of damping-off caused by *Pythium* spp. in soil from the indigenous Mexican Chinampa agricultural system. Soil Biology and Biochemistry 19: 501-508.
- McKellar ME, Nelson EB. 2003. Compost-induced suppression of *Pythium* damping-off is mediated by fatty-acid-metabolizing seed-colonizing microbial communities. Applied and Environmental Microbiology 69: 452-460.
- Malek RG, Gartnes JB. 1975. Hardwood bark as a soil amendment for suppression of plant parasite nematodes on container grown plants. Hort-Science 10: 261-274.
- Mandelbaum R, Hadar Y, Chen Y. 1988. Composting of agricultural wastes for their use as container media. II. Effect of heat treatment on suppression of *Pythium aphanidermatum*, and microbial activities in substrates containing compost. Biological Wastes 26: 261-274.
- Mandelbaum R., Y. Hadar. 1990. Effects of available car-

- bon source on microbial activity and suppression of *Pythium aphanidermatum* in compost and peat container media. *Phytopathology* 80: 794-804.
- Mathot P. 1987. Emploi de composts dans la lutte contre *Rhizoctonia* sp. Mededeligen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent 52, 1127-1132.
- Migheli Q, Aloï C. 1992. Prospettive d'impiego di substrati repressivi. *Colture Protette* 5: 83-87.
- McSorley R, Gallaher RN. 1995. Effect of yard waste compost on plant parasitic nematode densities in vegetable crops. *Journal of nematology* 27: 545-549.
- Nelson EB, Hoitink HAJ. 1982. Factors affecting suppression of *Rhizoctonia solani* in container media. *Phytopathology* 72: 275-279.
- Nelson EB, Hoitink HAJ. 1983. The role of microorganisms in the suppression of *Rhizoctonia solani* in container media amended with composted hardwood bark. *Phytopathology* 73: 274-278.
- Pera J, Calvet C. 1989. Suppression of *Fusarium* wilt of carnation in a composted pine bark and a composted olive pumice. *Plant Disease* 73: 699-700.
- Postma J, Willemsen-De Klein MJEIM, van Elsas JD. 2000. Effect of the indigenous microflora on the development of root and crown rot caused by *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown on rookwool. *Phytopathology* 90: 125-133.
- Puustjärvi V. 1994. La turba y su manejo en la horticultura. Ediciones de horticultura SL.
- Puustjärvi V, Robertson RA. 1975. Physical and chemical properties. In *Peat in horticulture*. (Robinson DW, Lamb JGS, eds.). London: Academic Press Limited, pp. 389-419.
- Rodríguez-Kábana R. 1997. Alternativas no químicas al bromuro de metilo en el control de los patógenos del suelo. Líneas prioritarias de investigación. En *Alternativas al bromuro de metilo en agricultura* (Bello A., González Pérez J, Tello JC, eds.). Colección: Congresos y Jornadas 44/97. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Almería, pp. 31-42.
- Sivasithamparan K. 1981. Some effects of extracts from tree barks and sawdust on *Phytophthora cinnamomi* Rand. *Australian Plant Pathology* 10: 18-20.
- Spencer S, Benson DM. 1981. Root rot of *Aucuba japonica* caused by *Phytophthora cinnamomi* and *P. citricola* and suppressed with bark media. *Plant Disease* 65: 918-921.
- Spencer S, Benson DM. 1982. Pine bark, hardwood bark compost, and peat amendment effects on development of *Phytophthora* spp. and lupine root rot. *Phytopathology* 72: 346-351.
- Stephens CT, Herr LJ, Hoitink HAJ, Schmitthenner AF. 1981. Suppression of *Rhizoctonia* damping-off by composted hardwood bark medium. *Plant Disease* 65: 796-797.
- Stephens CT, Stebbins TC. 1985. Control of damping-off pathogens in soilless containers media. *Plant Disease* 69: 494-496.
- Szczeczek M, Rodomanski W, Brzeski MW, Smolinska U, Kotowski JF. 1993. Suppressive effect of a commercial earthworm compost on some root infecting pathogens of cabbage and tomato. *Biological Agriculture and Horticulture* 10: 47-52.
- Tahvonon R. 1993. The suppressiveness of Finnish light colored Sphagnum peat and biocontrol of plant diseases with *Streptomyces* sp. *Acta Horticulturae* 54: 345-356.
- Tello JC, de Cara M, Palmero D, García A, Santos M. 2006. La desinfección del suelo en cultivos protegidos. En *Control de patógenos telúricos en cultivos hortícolas intensivos*. Madrid: Aerotécnicas, pp. 10-62.
- Theodore M, Toribio JA. 1995. Suppression of *Pythium aphanidermatum* in composts prepared from sugar cane factory residues. *Plant and Soil* 177: 219-223.
- Trillas-Gay MI, Hoitink HAJ, Madden LV. 1986. Nature of suppression of *Fusarium* wilt of radish in container medium amended with composted hardwood bark. *Plant Disease* 70: 1023-1027.
- Verdonck O, Penninck R, De Boodt M. 1983. The physical properties of different horticultural substrates. *Acta Horticulturae* 150: 155-160.
- Waksman SA, Puvis ER. 1932. The microbiological population of peat. *Soil Science* 34: 95-113.
- Wolffhchel H. 1988. The suppressiveness of sphagnum peat to *Pythium* spp. *Acta Horticulturae* 221: 217-222.
- Whipps JM. 1992. Status of biological disease control in horticulture. *Biocontrol Science Technology* 2: 3-24.
- Zhang W, Dick WA, Hoitink HAJ. 1996. Compost-induced systemic acquired resistance in cucumber to *Pythium* root rot and anthracnose. *Phytopathology* 86: 1060-1070.
- Zhang W, Han DY, Dick WA, Davis KR, Hoitink HAJ. 1998. Compost and compost water extract-induced systemic acquired resistance in cucumber and *Arabidopsis*. *Phytopathology* 88: 450-455.

EVALUACIÓN COMPARADA DE LA SOSTENIBILIDAD AGRARIA EN EL OLIVAR ECOLÓGICO Y CONVENCIONAL

Antonio M Alonso, Gloria I Guzmán

*Centro de Investigación y Formación de Agricultura Ecológica y Desarrollo Rural. Apdo. 113, 18320, Santa Fe (Granada);
Tlfo: 958-513195; Fax: 958-513196. E-mail: alonso@cifaed.es*

Resumen

El objetivo del presente trabajo es evaluar la sostenibilidad agraria desde una perspectiva agroecológica, teniendo en cuenta aspectos económicos, sociales y ambientales. Para ello, evaluamos comparativamente la producción de aceite de oliva ecológica y convencional en la comarca de Los Pedroches (Córdoba, España), empleando la metodología del MESMIS.

Se han utilizado 17 indicadores de sostenibilidad, obteniéndose en 13 de ellos valores mayores en el olivar ecológico. Esta evaluación muestra que las diferentes labores realizadas y tecnologías aplicadas en el cultivo ecológico y convencional del olivar, hacen que el primero presente un nivel más alto de sostenibilidad global. Así, el cultivo ecológico del olivar y la venta de aceite ecológica puede ser un estímulo para incrementar los beneficios económicos de los olivicultores, a la vez que se preservan los recursos naturales.

Los resultados obtenidos permiten poner de manifiesto algunos aspectos relevantes a la hora de diseñar políticas de desarrollo rural relacionadas con este sector; especialmente en aquellas zonas con una importante presencia de este cultivo.

Palabras clave: Agroecología, Agricultura Ecológica, Sustentabilidad, Pedroches, Córdoba

Summary

Compared evaluation of the agrarian sustainability in the ecological and conventional olive grove

The objective of this study is to assess agrarian sustainability from an agro-ecological perspective, taking into account economic, social and environmental aspects. For this, we comparatively evaluate organic and conventional olive oil production in the Los Pedroches region (Córdoba, Spain), using the MESMIS methodology.

We are used 17 sustainability indicators; 13 of them have highest values in organic management. The final data show that techniques and technologies used in organic management are better than conventional one, from a global sustainable approach. As a consequence, the organic management of the olive groves and the sale of organic olive oil can be a stimulus to farmers to increase their profits and to preserve the natural resources.

The results obtained permit to shed light on certain elements necessary to the design of rural development policies linked to this sector; especially in those areas with a high importance in this crop.

Keywords: Agroecology, Organic Agriculture, Sustainability, Pedroches, Córdoba

Introducción

Hacer operativo el concepto de sostenibilidad no es una tarea sencilla, cuyo grado de complicación aumenta en la medida que se trata de evaluar sistemas complejos, como los agrarios, donde las cuestiones económicas, sociales y ambientales se solapan en un conjunto de relaciones sinérgicas y antagónicas. Sin

embargo, es una tarea necesaria ante los nuevos retos que tiene enfrente la agricultura (generación de renta, mantenimiento de la población en el medio rural, preservación de los recursos naturales...), y que requieren, a su vez, la aplicación de nuevos enfoques analíticos. Por ello, contribuir a este proceso de evaluación constituye el objetivo general de este trabajo, tomando como estudio de caso el cultivo del olivar de

Tabla 1. Atributos, criterios de diagnóstico e indicadores de sostenibilidad.

Atributos	Criterios de diagnóstico	Indicadores	Medidas
A) Productividad	-Física -Beneficio económico -Eficiencia energética	Rendimiento Beneficio Relación energía saliente/energía fósil entrante	kg aceituna/ha €/ha kcal/ha
B) Estabilidad y Resiliencia	-Estabilidad productiva -Balance de materia orgánica -Balance de nutrientes -Estabilidad económica -Biodiversidad vegetal -Biodiversidad animal	Evolución del rendimiento Mantenimiento de fertilidad Relación entrada/salida de macronutrientes Sensibilidad a los precios Sensibilidad de los ingresos Sensibilidad de los beneficios Abundancia de especies Presencia de insectos auxiliares	kg aceituna/ha kg/ha kg N-P-K/ha €/ha €/ha €/ha Número Número
C) Equidad	-Generación de empleo -Distribución de riqueza -Energética -Externalidades generadas	Demanda de trabajo Precio percibido por productores Uso de energía fósil Relación de uso de energía renovable/total Calentamiento global/Efecto invernadero Ecotoxicidad Acuática Ecotoxicidad Terrestre Toxicidad Humana Potencial de Acidificación Potencial de Eutrofización Pérdida de suelo Contaminación Fotoquímica (NOx)	Jornales/ha €/kg aceituna kcal/ha kcal/ha kg/ha m ³ /ha kg/ha kg/ha kg/ha kg/ha kg/ha Kg/ha kg/ha
D) Autonomía	-Físico-económica -Dependencia de subsidios -Energética	Dependencia de insumos externos Importancia de los ingresos públicos Control de la energía utilizada	€/ha €/ha kcal/ha
E) Adaptabilidad cultural	-Capacidad de innovación	Aplicación y generación de conocimientos	Número

secano en el seno de la cooperativa Oliverera de Los Pedroches (OLIFE), situada en la comarca¹ agraria del mismo nombre en la provincia de Córdoba, bajo dos formas de producción: convencional, que no está regulada por normativas específicas, y ecológica, que se regula en la Unión Europea mediante el Reglamento (CEE) 2092/91 del Consejo.

En el siguiente apartado se explica la metodología seguida para la consecución de los objetivos marcados. A continuación se describen de forma sucinta las principales características del estudio de caso. Seguidamente se analizan los resultados obtenidos, para terminar con una serie de conclusiones y propuestas en el último apartado.

Metodología

En los últimos años, fruto del interés creciente que suscita el tema de la sostenibilidad ligado a los procesos de producción entre los responsables políticos, investigadores e incluso empresas certificadoras de productos de calidad, se han desarrollado algunas metodologías dirigidas a su evaluación: la desarrollada

por la Unión Europea, el Metabolismo Social, el Análisis del Ciclo de Vida, el Análisis de la Emergía, el Análisis Coste-Beneficio, la Huella Ecológica y el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad-MESMIS². Todas ellas permiten analizar la sostenibilidad agraria desde una perspectiva económica, social y/o ecológica. En la presente investigación se ha utilizado el MESMIS (Maseira et al. 1999) modificado, estableciendo cinco etapas metodológicas: determinación del objeto de la evaluación, selección de indicadores, medición de los indicadores, presentación e integración de los resultados y conclusiones. Todas ellas se explican brevemente a continuación excepto las conclusiones, que se corresponden con el último epígrafe.

Determinación del objeto de la evaluación

Consiste en la caracterización del contexto del análisis y los sistemas de cultivo que se han de evaluar (ver epígrafe del estudio de caso), lo que sirve de base para la siguiente etapa metodológica. En nuestro caso se trata del cultivo ecológico y convencional del olivar de

1 Unidad administrativa formada por varios municipios.

2 Una revisión analítica de estas metodologías puede consultarse en Alonso (2003).

secano en la comarca de Los Pedroches (Córdoba), tomando como referencia a agricultores pertenecientes a la cooperativa OLIPE.

Selección de indicadores

La sostenibilidad de los agroecosistemas puede caracterizarse por un conjunto de propiedades dinámicas o atributos que describen su conducta esencial y pueden usarse como criterio en el diseño, ejecución y/o evaluación de un proyecto de desarrollo agrario. Estos atributos son la productividad, la estabilidad, la resiliencia, la equidad, la autonomía y la adaptabilidad cultural (Conway 1987, Reinjntjes *et al.* 1992). En función de éstos (explicados más adelante) se determinan los criterios de diagnóstico de los que se derivan los indicadores para llevar a cabo la evaluación (Tabla 1).

Medición de los indicadores

Una vez determinados los indicadores es necesario establecer los instrumentos metodológicos y/o de cálculo para su obtención, los cuales varían en función del nivel de análisis de referencia; así, como se muestra en cada uno de ellos, hay indicadores que se refieren a una muestra del sistema productivo a analizar, a los datos globales aportados por la cooperativa, a explotaciones seleccionadas e incluso a otros trabajos de investigación.

Los indicadores finales resultantes en cada sistema productivo tienen un carácter relativo que se ajusta a una escala de cero a cien. Como norma general se pueden presentar dos circunstancias básicas en función de que existan o no valores de referencia en los criterios de diagnóstico: si aquellos no existen, al mayor de los valores resultantes en cada sistema se le asigna el valor 100 y el menor se obtiene como porcentaje del valor absoluto de éste; si, por el contrario, existe un valor de referencia se toman los porcentajes relativos al mismo en cada sistema. Veamos a continuación la descripción de los criterios de diagnóstico y los métodos de cálculo de los indicadores.

A) *Productividad*. Se define como el producto obtenido por unidad de recurso empleado. En este caso se van a calcular indicadores relativos a la productividad física, el beneficio económico y la eficiencia energética.

A.1) *Productividad física*. Medida en kilogramos de aceituna por hectárea, se obtiene a partir de las entregas de los socios entrevistados (ver siguiente apartado) de las campañas 1998/99 a 2001/02, calculando la media en cada sistema de manejo. Al mayor promedio resultante se le asigna el valor 100, siendo el del otro el porcentaje sobre el valor del primero.

A.2) *Beneficio económico*. Medido en euros por hectárea se obtiene a partir de la diferencia entre los ingresos y los costes de producción. Para la obtención de la información económica se ha utilizado la entre-

vista directa semiestructurada (García *et al.* 1992). Con la colaboración de la cooperativa OLIPE, se ha logrado entrevistar a 23 agricultores³ ecológicos (100% de las explotaciones con al menos tres años antigüedad⁴), y a 28 agricultores convencionales cercanos⁵. El indicador final se ha calculado mediante el mismo procedimiento del anterior.

A.3) *Eficiencia energética*. El análisis energético relaciona la producción bruta o neta del sistema con el conjunto de entradas energéticas necesarias para conseguir dicha producción (Martínez 1991, Alonso & Guzmán 2004b). En este sentido, es especialmente relevante el análisis de la "eficiencia de la energía no renovable o fósil", es decir, la relación entre las salidas totales (aceituna y restos de poda) y la energía no renovable utilizada. El cálculo parte de las labores obtenidas en las entrevistas realizadas, transformándose en energía los elementos que intervienen en la producción, así como los productos resultantes. El cálculo del indicador final sigue las pautas de los anteriores.

B) *Estabilidad y resiliencia*. La estabilidad se refiere a la capacidad de un agroecosistema para mantenerse de manera estable en equilibrio dinámico a través del tiempo (Conway 1987), salvando pequeñas fuerzas perturbadoras que surgen de las normales fluctuaciones o ciclos del medio ambiente circundante. Este atributo se asocia con la idea de un sistema que es capaz de combatir los rendimientos decrecientes sin necesidad de añadir cantidades crecientes de energía y nutrientes, sino más bien modificando el manejo de sus recursos: orden de las rotaciones, abonados en verde, integración de la agricultura y ganadería, etc. La resiliencia se define como la habilidad de un agroecosistema para mantener la productividad cuando está sujeta a una mayor fuerza de perturbación, que puede ser un estrés frecuente, acumulativo y predecible (salinización, erosión, acumulación de sustancias tóxicas en el suelo...), o una circunstancia impredecible (una inundación, el incremento repentino de los precios del petróleo, etc.). La reducción de la dependencia de insumos externos, la utilización racional del agua y los productos químicos, etc., pueden contribuir a incrementar esta habilidad. La estabilidad y la resiliencia están, por tanto, muy relacionadas, por lo que se evaluarán de

3 Corresponden a 25 explotaciones, ya que hay dos agricultores que manejan también la de un familiar.

4 Se considera la hipótesis de que durante ese periodo de conversión estos olivareros han adquirido conocimientos y, en consecuencia, han ajustado con una cierta estabilidad las técnicas de cultivo ecológico (dosis de abonado, control de plagas y enfermedades...), de manera equiparable a la estabilidad de las técnicas convencionales.

5 Explotaciones colindantes o cercanas a las ecológicas, con el fin de reducir al mínimo el número de factores ajenos al tipo de manejo (tipo de suelo, pendiente, tenencia de riego...) que pudieran desvirtuar los aspectos comparativos.

manera conjunta integrando aspectos físico-productivos, económicos y ambientales.

B.1) Estabilidad productiva. Se ha medido la variación de los rendimientos obtenidos por los olivaderos entrevistados durante cuatro campañas (1998/99 a 2001/2), calculando el coeficiente de variación como expresión de porcentaje de variabilidad. Dado que el coeficiente de variación mide la dispersión media, y la escala establecida en el presente trabajo va desde 100 (más positivo) hasta cero (más negativo), se utilizará la resta entre 100 y el valor obtenido en el indicador final.

B.2) Balance de materia orgánica. La ausencia de materia orgánica en el suelo es un indicador de falta de poder tampón edáfico (Gliessman 1998), de manera que para mantener unos rendimientos productivos es necesario aportar dosis altas de fertilizantes. El porcentaje de materia orgánica se ha determinado a nivel de explotación, en tres pares de fincas (una ecológica y otra convencional) situadas en tres zonas diferentes: Los Pañero, Los Tirado y Chivatiles. A partir del análisis de la materia orgánica oxidable en los primeros 30 cm, se ha realizado un promedio de los resultados de los suelos ecológicos y convencionales. Tomando como referencia el valor medio normal en cada tipo de suelo, se ha calculado el porcentaje que representan los promedios obtenidos con respecto a ese valor máximo.

B.3) Balance de nutrientes. Al igual que en el anterior, si no se produce una reposición de nutrientes, el stock edáfico de los mismos disminuirá progresivamente, limitando su capacidad productiva. El balance de nutrientes (entradas menos salidas) se realiza en todas las explotaciones entrevistadas en base a los macro nutrientes esenciales: nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O). Si la aportación de nutrientes supera a la salida de los mismos, el indicador toma el valor 100. Si, por el contrario, el valor resultante es negativo, el cálculo del indicador se realiza restándole a 100 el porcentaje de ese valor resultante (en términos absolutos) con respecto a la cantidad de ese nutriente que sale del sistema. Con los tres valores porcentuales resultantes en cada sistema de cultivo se calcula una media final.

B.4) Estabilidad económica. Se refiere al mantenimiento de un nivel de renta a lo largo del tiempo. Establecer un indicador de diagnóstico que recoja esta circunstancia no es una tarea sencilla, al depender de numerosos factores internos y externos a la explotación. Como una aproximación, en este trabajo se han elegido tres indicadores relacionados entre sí: la estabilidad de precios percibidos por los agricultores, la estabilidad de ingresos y la estabilidad de los beneficios hipotéticos resultantes. Todos ellos se calculan para siete campañas (1995/6 a 2001/2), determinando su coeficiente de variación, adaptándolo a la escala utilizada (ver estabilidad productiva) y elaborando un indicador final como promedio de los mismos.

B.5) Biodiversidad vegetal. La diversidad del ecosistema viene a ser el resultado de las formas en que están organizados e interactuando los diferentes componentes vivos e inertes del sistema. Así, en los sistemas con baja diversidad, las perturbaciones pueden causar cambios permanentes en sus funciones, dando como resultado pérdidas de recursos del ecosistema (Gliessman 1998, Altieri 1987). En este caso, el indicador elegido es la diversidad de flora arvense (especies) presente en las fincas señaladas en el indicador de balance de materia orgánica, calculando un promedio en cada sistema de producción. Además, se ha evaluado el índice de cobertura, dato que se utiliza en el cálculo de la erosión (ver externalidades más adelante).

B.6) Biodiversidad animal. Teniendo en cuentas las consideraciones anteriores, se ha incluido la presencia de enemigos naturales (parasitoides) de la mosca (*Bactrocera oleae*) y de la polilla (*Prays oleae*) del olivo, como indicador de la biodiversidad animal y, en consecuencia, de la estabilidad de los agrosistemas. Para ello se han tomado datos de la investigación (tesis doctoral) realizada por Julio Sánchez Escudero, una de cuyas partes ha consistido en determinar el número de especies de cada familia y el de individuos en cada fecha de muestreo en las mismas fincas del indicador anterior (Sánchez 2004). A partir de estos datos, se ha calculado el porcentaje del número de individuos colectados en las fincas ecológicas y convencionales respecto al valor máximo (potencial) encontrado en una de ellas.

C) *Equidad*. Hace referencia en sentido amplio a que esté asegurado el acceso al poder, es decir, a la capacidad para tomar decisiones tanto productivas (manejo de los recursos) como comerciales, de tal forma que las necesidades básicas de todos los miembros de la organización social se hallen cubiertas. Aquellas situaciones o cambios que supongan un incremento de la desigualdad en la organización social y, por ende, una disminución de la capacidad de reproducción social, pueden ser consideradas como generadoras de una mayor insostenibilidad. A ello debe añadirse dos dimensiones más de la equidad: la "inter" y la "intra" generacional. La primera implica una asignación lo más equitativa posible de los recursos y de la calidad del agroecosistema entre generaciones sucesivas. La segunda se refiere a la relación de intercambio igualitaria en una misma generación; por ejemplo, entre los sistemas agrarios y el resto de la sociedad. Es obvio que la forzada transferencia de renta en beneficio de las ciudades ha llevado consigo un sobreesfuerzo productivo de los agroecosistemas, lo que, a su vez, está provocando efectos negativos sobre los recursos naturales y el ser humano, con incidencia actual, pero también futura. Para cubrir estos aspectos de la sostenibilidad en su atributo de equidad, los indicadores utilizados son la generación de empleo, la distribución de la riqueza, la equidad energética y las externalidades generadas.

C.1) Generación de empleo. Éste lleva consigo el reparto de los ingresos que una unidad de producción contribuye a generar. La valoración de este indicador se mide en función del número de jornales por hectárea que genera el cultivo ecológico y convencional del olivar; la cantidad mayor resultante adquiere el valor 100, calculándose la otra como porcentaje de la misma.

C.2) Distribución de la riqueza. Se utiliza como indicador de este criterio de equidad el precio del aceite ecológico y convencional percibido por los olivares como porcentaje del precio al que la cooperativa ha vendido esos aceites. La base de cálculo son los datos aportados por la cooperativa OLIPE de 5 campañas (1996/7 hasta 2000/1).

C.3) Equidad energética. La utilización de energía no renovable, principalmente la derivada del petróleo, supone el uso de un bien escaso que tiene efectos sobre las generaciones presentes y futuras, al ocasionar incremento de los precios de los productos manufacturados, impedir el acceso a su utilización a buena parte de la humanidad presente y futura, etc. Por ello, un indicador del grado de equidad energética comparada está configurado por la cantidad total de energía no renovable utilizada. El mayor valor resultante tiene el valor nulo (menor equidad) en la escala considerada, mientras que el del otro tipo de manejo es el porcentaje de la diferencia respecto al mayor. Sin embargo, este indicador es excesivamente restrictivo, siendo también preciso valorar los esfuerzos que un determinado sistema agrario de producción realiza para disminuir el uso de energías fósiles. De ahí que se haya incluido un segundo indicador, como es la energía renovable invertida respecto de la entrada total. A través del promedio de ambos indicadores se obtiene la medida final de la equidad energética.

C.4) Externalidades. La generación de efectos negativos sobre los recursos naturales y el ser humano tiene implicaciones tanto intra como intergeneracionales, mostrándose como una de las principales características que recientemente es tenida en cuenta para la valoración de la sostenibilidad. Para el cálculo de las externalidades negativas provocadas por el manejo ecológico y convencional del olivar se utiliza el cuerpo teórico y metodológico que provee el Análisis del Ciclo de Vida (Audsley *et al.* 1997, Weidema & Meeusen 2000). Dentro de éste, se han elegido como indicadores la pérdida de suelo, el calentamiento global/efecto invernadero, la toxicidad terrestre, acuática y humana, el potencial de acidificación y eutrofización, y la formación de foto-oxidantes. Para la obtención de todos estos indicadores se ha contado con la ayuda de un programa informático desarrollado en el seno del programa europeo Life-Medioambiente denominado "Óleo-life" (LIFE99/ENV/E/00035). Los datos introducidos a este programa son las cifras y características medias de los sistemas de manejo ecológico y convencional

obtenidas en las entrevistas. Dada la ausencia de información respecto a valores de tolerabilidad de referencia, se ha considerado al menor valor como causante de un impacto negativo más pequeño, por lo que al sistema de manejo que lo obtenga en cada categoría se le asigna el valor máximo (100) dentro de la escala establecida; en consecuencia, el indicador relativo del sistema que provoque un mayor impacto se obtiene calculando el porcentaje que representa el menor valor sobre el mayor. El indicador global de equidad de cada sistema se ha establecido como promedio de los impactos parciales.

D) *Autonomía*. La autonomía de un sistema de producción está estrechamente relacionada con la capacidad interna para suministrar los flujos necesarios para la producción, de manera que aquella descendería en la medida en que se incrementa la necesidad de recursos externos. En este sentido, se va a analizar la autonomía físico-económica, la dependencia de subsidios y la autonomía energética, tomando como nivel de referencia local la comarca agraria.

D.1) Autonomía físico-económica. Este grado de autonomía se mide en términos económicos teniendo en cuenta la procedencia de los materiales y servicios utilizados en el proceso de producción. Así, este indicador se calcula como porcentaje de los costes que provienen del interior de la comarca en ambos sistemas de cultivo (media de las explotaciones entrevistadas).

D.2) Dependencia de subsidios. La medida de la importancia relativa de los ingresos adicionales que suponen los subsidios permite analizar el grado de autonomía económica que presentan los sistemas de producción agraria. La determinación de este indicador parte del cálculo de un nuevo margen económico eliminando los ingresos por subsidios. En este caso se tiene, por un lado, un nuevo margen económico en el olivar convencional como consecuencia de eliminar la subvención a la producción y, por otro, tres nuevos márgenes económicos en el ecológico: los resultantes de eliminar la subvención a la producción, a la agricultura ecológica y a ambas. El segundo paso consiste en calcular el porcentaje que representan estos nuevos márgenes con respecto al margen inicial en cada sistema, siendo el del cultivo ecológico el promedio de los tres resultantes. La obtención de márgenes negativos denota un grado de autonomía nula respecto a los subsidios.

D.3) Autonomía energética. Este indicador valora la integración de los flujos de energía entre los distintos componentes del agroecosistema y con el exterior. Se considera que lo que aporta la comarca (mano de obra, estiércol...), transformado en unidades energéticas, hace que el olivar se desarrolle con un menor grado de dependencia externa. El indicador final es el porcentaje de la energía procedente de la comarca respecto a la total.

E) *Adaptabilidad cultural*. Se refiere al conjunto de características que deben cumplir las tecnologías para ser incorporadas a un sistema de producción determinado, sin que ello suponga una limitación a la capacidad de control y decisión sobre el manejo del mismo. La adaptabilidad en este contexto es sinónimo de flexibilidad para amoldarse a nuevas condiciones del entorno económico y biofísico, por medio de procesos de innovación y aprendizaje (Mäser *et al.* 1999), e incluso de recuperación de técnicas y/o tecnologías tradicionales, así como del conocimiento asociado a las mismas.

En este criterio, por tanto, se van a analizar, dentro del rango de opciones técnica y económicamente disponibles en el cultivo ecológico y convencional del olivar, aquellas tecnologías caracterizadas por su reproducibilidad total o parcial por parte de los olivereros. Así, se procede a contabilizar el porcentaje de empleo/adopción de tales tecnologías (siembra de abonos verdes entre calles, pastoreo y adaptación de trampas para el control de la mosca del olivo) en ambos sistemas.

Presentación e integración de los resultados

Esta etapa comprende el análisis y la integración de los resultados obtenidos para cada criterio de diagnóstico. Existen varios procedimientos de análisis multicriterio que permiten la integración de resultados, como el modelo lexicográfico, la teoría de utilidad multiatributo, los métodos de superación, los enfoques del punto ideal o los modelos de niveles de aspiración (Munda 2003, Rehman & Romero 1993). En todos ellos se plantea el mismo inconveniente final: cómo relativizar comparativamente la medida de la sostenibilidad en función de un único indicador integrador; y no es una cuestión resuelta de forma definitiva por una serie de causas, a saber: la ausencia de valores de referencia (tolerancia) en algunos indicadores, su carácter compensatorio (consideración de insostenibilidad si alguno de los indicadores presenta un valor nulo), o el establecimiento de jerarquías (ponderación) en los mismos, son los más relevantes. Teniéndolos en cuenta, como se referirá en el texto, se ha optado por una técnica mixta de integración de resultados, el gráfico AMEBA sin ponderación (Mäser *et al.* 1999). El procedimiento consiste en dibujar un gráfico radial, cuyos ejes estarían constituidos por los indicadores escogidos en la evaluación y donde se señalarían los valores obtenidos. La comparación de las áreas máximas de cada sistema determina la sostenibilidad global relativa entre ellos.

Estudio de caso. El olivar ecológico y convencional de la comarca agraria de Los Pedroches (Córdoba)

La comarca de Los Pedroches está situada al norte de la provincia de Córdoba (España), en Sierra Morena, en la confluencia de las Comunidades Autónomas

de Castilla-La Mancha, Extremadura y Andalucía. El suelo de esta sierra posee elevadas pendientes, tiene poca profundidad y el pH es ácido, mientras que los recursos hídricos son muy limitados. Las precipitaciones se distribuyen irregularmente durante el invierno, con una media de 600 mm anuales, lo que provoca un déficit hídrico muy importante entre los meses de mayo a octubre. Esta comarca, por tanto, tiene un carácter de zona desfavorecida desde el punto de vista agroclimático, siendo su vocación eminentemente ganadera y forestal. Las tierras labradas apenas representan el 40% de todas las tierras de esta comarca, ocupando el olivar tan sólo el 18% de tales tierras labradas, lo que supone 32.262 hectáreas.

La cooperativa Oliverera Los Pedroches (OLIFE) fue fundada en 1958, pero no es hasta 1995 que 25 socios inician el cultivo ecológico del olivar. En esta almazara se ha molturado una media de seis millones de kilogramos de aceituna al año desde su creación. No obstante, a partir del inicio de la producción de aceite ecológico, esta media se ha incrementado sensiblemente alcanzándose los 6.400.000 kg/año, como consecuencia de haber aumentado la superficie dedicada al cultivo del olivo a través de nuevas incorporaciones de socios (Alonso 2003). En la campaña 1995/6 la cooperativa estaba formada por 605 socios que cultivaban 7.594 hectáreas (25 explotaciones y 782 hectáreas eran ecológicas); en la campaña 2001/2 el número de socios ascendió a 710 (505 ecológicos) con 10.600 hectáreas, de las que 9.010 eran ecológicas (alrededor del 28% del olivar total existente en la comarca).

A continuación, en base a las entrevistas realizadas, se describen las técnicas de cultivo del olivar convencional y ecológico empleadas en la zona, resaltando algunas diferencias entre ellos.

El laboreo del suelo se realiza en casi todas las explotaciones; tan sólo no se lleva a cabo en el 8,7% de las ecológicas. Lo más común es llevar a cabo esta labor en septiembre-octubre, aunque algunos olivicultores aran en abril. El equipo utilizado suele ser un tractor de cadenas con cultivador, aunque en casos excepcionales se puede encontrar esta labor realizada por tracción animal (zonas de alta pendiente), más comúnmente en el olivar ecológico. La contratación del laboreo se da en el 17% de los casos del olivar ecológico, por ninguno en el convencional.

La siembra de veza como abono verde la realizan un 17,4% de los olivicultores ecológicos (ningún convencional), generalmente de forma rotativa en la tercera parte del terreno con la doble finalidad de proteger el suelo y ofertar alimento para el ganado. Se siembra en octubre o principios de noviembre, permitiendo el pastoreo a partir de febrero.

Con la introducción del ganado en el olivar, ovino principalmente, el propietario persigue básicamente la eliminación de las hierbas que compiten en la adquisi-

ción de nutrientes y agua con el árbol durante los meses de escasez hídrica. Cuando este pastoreo se paga (hasta 60 €/ha), supone un ingreso adicional para el oliviero. El ganadero, por su parte, obtiene con este manejo el alimento idóneo para sus animales, que además le supone un ahorro económico respecto al aporte de piensos. En general, las ovejas pastorean bajo los olivos desde el final de la recolección hasta abril. Se introduce ganado en el 86,9% de las fincas ecológicas y en el 30,8% de las convencionales, siendo ganado propio aproximadamente en la mitad de las explotaciones de ambos sistemas.

La aplicación de herbicidas para el control de adventicias es realizado por el 35,7% de los entrevistados en olivar convencional, siendo las épocas más frecuentes marzo y octubre; en el primer caso se utiliza mayoritariamente glifosato, y en el segundo simazina⁶.

El abonado al suelo es relativamente diverso. Los productos a base de boro son los más utilizados en ambos sistemas. En algunas fincas ecológicas se aplica estiércol compostado (principalmente de ovino) y otros abonos orgánicos comerciales, no encontrando ningún caso en las convencionales; en éstas se utilizan abonos químicos, preferentemente complejos del tipo triple 15 y urea. El abonado de suelo suele realizarse en febrero (caso del boro y los fertilizantes químicos) y entre septiembre y noviembre (caso de los abonos orgánicos). El 60,9% y el 75% de las explotaciones ecológicas y convencionales, respectivamente, llevan a cabo el abonado de fondo. En el primer caso, el 28,6% de las fincas ecológicas que aplican fertilizantes al suelo lo hacen con estiércol madurado. Esta aplicación se realiza manualmente, bien de forma directa desde el remolque, o bien previa distribución en montones por la parcela.

Tractor y cuba son los elementos empleados normalmente en el abonado foliar, aunque en algunos casos se sustituye el tractor por un vehículo todo-terreno o algún viejo turismo. Productos a base de boro permitidos por la agricultura ecológica son los más usados tanto en olivar ecológico como convencional. En la cuba se vierte a menudo algún que otro abono y, en la mayoría de los casos, se añade además un fungicida para el tratamiento del repilo (*Spilocaea oleagina*). Las épocas más frecuentes de aplicación son abril y/o septiembre-octubre, haciéndose estos tratamientos en el 64,3% de los casos convencionales y en el 47,8% de los ecológicos.

El tratamiento contra el repilo suele acompañar al abonado foliar, y se realiza en el 73,9% de las fincas ecológicas y en el 82,1% de las convencionales. El producto utilizado más ampliamente es el caldo bordelés en ambos sistemas, aunque en el olivar convencional se emplean otros fungicidas.

La lucha contra la mosca (*Bactrocera oleae*) se realiza mayormente mediante el trapeo en olivos alternos con botellas de plástico en las que se introduce una so-

lución a base de fosfato biamónico (atractivo alimentario). La colocación de la trampa (que dura 3 años) se realiza en junio o julio normalmente; en las campañas sucesivas únicamente se habrán de rellenar las botellas, pasando con la cuba preparada con la solución entre las calles, al tiempo que se reponen aquellas que se hayan deteriorado. Este tratamiento no presenta diferencias en las formas entre el olivar ecológico y convencional, aunque sí en su intensidad de uso: el 65,2 % de los ecológicos, frente al 25% de los convencionales. En estos últimos, otro 53,8% realiza tratamientos a base de plaguicidas, cuyas materias activas básicas son el clorpirifos y el dimetoato.

El desvareto o eliminación de los "chupones" (ramillas que crecen en la peana y tronco) del olivo se realiza en todas las explotaciones, generalmente en septiembre, utilizando un hacha pequeña, una azada o un escardillo. Estas ramillas se agrupan en montones en los que se va secando para su posterior quema, que suele realizarse durante la recolección.

Habitualmente se poda cada tres años en los meses de febrero y marzo, aunque en algunos casos se realiza cada dos o cuatro años.

La recolección se realiza principalmente mediante vareo manual (todos los casos entrevistados), aunque durante el trabajo de campo se ha observado en algunas fincas la utilización del vibrador de ramas. Existe una tendencia actual a adelantar la recolección a mediados de noviembre, buscando mejorar la calidad del aceite. La aceituna recogida se lleva hasta la almazara en vehículo propio y remolque, o se contrata a un transportista.

Resultados

En esta fase se procede a analizar e integrar los resultados obtenidos, en base a cada uno de los indicadores establecidos.

A.1) La productividad física media resultante ha sido de 984 kg/ha en el sistema convencional frente a 853 kg/ha en el ecológico. Aunque no han existido diferencias significativas ($p < 0,05$) en ninguno de los cuatro años considerados, se toman estos valores para la construcción de los indicadores relativos: 100 en el cultivo convencional y 86,7 en el ecológico (un 13,3% menor).

A.2) El beneficio económico medio es de 370 y 124 €/ha en el sistema ecológico y convencional, respectivamente, lo que supone un indicador relativo de 100 para el primero y de 33,5 para el segundo. En ambos casos ha sido muy bajo el valor absoluto obtenido, cuya causa principal es la baja productividad de la zona, tal y como se refleja en Alonso & Guzmán (2004a). Los costes de producción son muy similares en los dos sistemas, siendo la mayor parte de los mismos (alrededor del 80%) mano de obra. En el caso de la fertilización, son algo superiores en el manejo ecológico debido al empleo de estiércol compostado (materia prima y aplicación

6 Aunque esta materia activa se halla actualmente prohibida no era el caso cuando se realizaron las entrevistas.

manual más costosa); sin embargo, este sobrecoste es compensado por el menor coste del control de hierbas mediante el pastoreo y del control de mosca mediante el trapeo. Las principales diferencias en los beneficios se encuentran en los ingresos. En efecto, el mayor sobreprecio obtenido por los oliveros ecológicos⁷ (factor principal), la ayuda agroambiental (no tan importante) y los mayores (aunque pequeños en magnitud) ingresos debidos al arrendamiento de pastos, justifican estos resultados.

A.3) La eficiencia energética es mayor en el sistema ecológico (5,14) que en convencional (4,06), debido al menor uso de energía fósil proveniente de la utilización de maquinaria (quema de combustible principalmente) y de productos químicos (plaguicidas, abonos y herbicidas). Por tanto, el resultado del indicador de sostenibilidad respecto a la eficiencia energética es de 100 en el manejo ecológico y 79,5 en el convencional.

B.1) La variación de los rendimientos, como medida de la estabilidad productiva, no ha mostrado diferencias significativas entre ambos sistemas de manejo, siendo los resultados medios de 16,4 en el ecológico y 23,9 en el convencional.

B.2) El balance de materia orgánica, medido como porcentaje en los suelos de las seis explotaciones seleccionadas (Tabla 2), es netamente favorable para las fincas ecológicas, debido al mantenimiento de flora arvense durante el invierno en las tres, la introducción de ganado ovino en pastoreo en Los Pañeros y la aportación de algo de estiércol compostado en Los Tirado. Es interesante resaltar que la finca convencional de Chivatiles, que también mantiene la hierba espontánea durante el invierno e introduce ganado para su aprovechamiento, presenta niveles de materia orgánica similares a la finca ecológica de referencia. Teniendo en cuenta que un nivel normal de materia orgánica para este tipo de suelos de secano es de 1,75%, los indicadores resultantes, calculados como porcentaje de los valores medios, son 88,8 para el sistema ecológico y 45,5 en el convencional. Sería aconsejable la realización de prácticas tendentes a incrementar la materia orgánica en el suelo.

Tabla 2. Porcentaje de materia orgánica oxidable (%).

	Los Pañeros	Los Tirado	Chivatiles	Media
Ecológico	2,23	1,19	1,24	1,55
Convencional	0,59	0,56	1,24	0,80

B.3) Los valores resultantes del balance de nutrientes, como porcentaje de cobertura de las necesidades (Tabla 3), muestran que las prácticas de fertilización re-

sultan insuficientes para compensar la salida de estos elementos (recolección del fruto y poda), siendo una excepción el caso del fósforo en el cultivo convencional. Es especialmente notable la deficiencia de potasio que se observa en ambos sistemas. El indicador final es notablemente menor en el manejo ecológico.

Tabla 3. Índice del balance de nutrientes en el olivar ecológico y convencional.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Media
Ecológico	67,2	34,3	10,3	37,3
Convencional	68,5	100	19,1	62,5

B.4) Los resultados obtenidos en la estabilidad económica (Tabla 4), muestran que el indicador final es sensiblemente mayor en el sistema ecológico, debido principalmente a la existencia de dos fuentes de ingresos "fijos": la ayuda agroambiental (pago por superficie) y arrendamiento del olivar "adehesado"; estos ingresos amortiguan los resultados económicos en años de baja producción, impidiendo la obtención de pérdidas, como ocurre en el caso del olivar convencional en estos años.

Tabla 4. Estabilidad económica del olivar ecológico y convencional.

	De precios	De ingresos	De beneficios	Promedio
Ecológico	79,5	38,3	56,8	58,2
Convencional	73,3	27,0	0	33,4

B.5) El seguimiento de la flora arvense para calcular el índice de biodiversidad vegetal ha arrojado los resultados que se muestran en la Tabla 5. La única zona donde se ha detectado una diferencia elevada en el número de especies recolectadas entre ambos tipos de manejo es la de Los Tirado: el laboreo de suelo con cultivador realizado a finales de mayo en la finca ecológica, parece tener mucho menor impacto sobre la riqueza florística que la misma labor realizada a principios de primavera y el tratamiento herbicida (simazina) aplicado en octubre en la finca convencional. En los otros parajes los resultados son similares: en Chivatiles debido a que el manejo de la cubierta vegetal es similar en ambos sistemas (mantienen la hierba durante el invierno), y en Los Pañeros debido a que el pastoreo continuado durante varios años en la finca ecológica puede estar limitando la diversidad florística, al seleccionarse especies rebrotantes (Guzmán & Alonso 2004). El promedio final revela un resultado favorable para las explotaciones manejadas ecológicamente.

Tabla 5. Índice de biodiversidad vegetal en los parajes seleccionados.

	Los Pañeros	Los Tirado	Chivatiles	Media
Ecológico	66,7	86,1	62,0	71,6
Convencional	65,7	35,0	63,6	54,8

⁷ Las campañas 1998/99 a 2001/02 arrojan un precio medio percibido por los ecológicos de 0,535 € por kilo de aceituna, frente a los 0,352 €/kg de los convencionales.

Tabla 7. Impactos sobre los recursos naturales y las personas.

Categorías de impacto	Unidad	Convencional	Ecológico	Indicador (%)
Calentamiento global/Efecto invernadero	(kg/ha)	3.658,6	1.559,1	42,6
Ecotoxicidad Acuática	(m ³ /ha)	96,2	19,2	19,9
Ecotoxicidad Terrestre	(kg/ha)	1.243,4	329,4	26,5
Toxicidad Humana	(kg/ha)	807,5	72,2	8,9
Potencial de Acidificación	(kg/ha)	26,4	14,7	55,8
Potencial de Eutrofización	(kg/ha)	3,9	2,7	70,8
Pérdida de suelo	(kg/ha)	196.348	1.474	0,8
Contaminación Fotoquímica (NOx)	(kg/ha)	2,0	0,04	2,1
Impacto medio				28,4

B.6) La medida de la biodiversidad animal (Tabla 6) registra los mayores valores en las fincas ecológicas, especialmente en las colectas de primavera, coincidiendo con la floración de la vegetación espontánea (Sánchez 2004). Este hecho indica la funcionalidad que presenta la cobertura vegetal, proporcionando refugio y alimento de adultos para el desarrollo de estos insectos. Ello también tiene implicaciones en la lucha biológica, ya que si la vegetación espontánea facilita su supervivencia, se plantea la posibilidad de cría y liberación de algunos de ellos⁸ como una estrategia alternativa (no contaminante) de manejo de plagas.

Tabla 6. Índice de biodiversidad animal en los parajes seleccionados.

	Los Pañeros	Los Tirado	Chivatales	Media
Ecológicos	31,8	100	62,1	64,6
Convencionales	12,1	0,2	34,8	15,7

C.1) El resultado del indicador generación de empleo revela un menor valor del número de jornales por hectárea en el ecológico (9,8) que en el convencional (10,1). El ecológico, por tanto, supone el 97% del convencional. Dada la baja intensificación productiva en ambos sistemas, las diferencias encontradas entre ellos se deben básicamente al empleo de mano de obra en la recolección.

C.2) La distribución de la riqueza (precio percibido por los olivares respecto al precio de venta del aceite) arroja una pequeña diferencia favorable al olivar ecológico (89%), frente al convencional (86,6%), debido básicamente a las penalizaciones por grado de acidez que tiene establecidas la cooperativa, y que son mayores en el manejo convencional (los técnicos

de OLIFE lo achacan a un inicio y finalización de la recolección más tardío).

C.3) En la equidad energética, uso de energía no renovable y porcentaje de la renovable sobre el total, se han obtenido unos resultados de 27,7 en el caso del sistema de manejo ecológico, frente a 4,4 en el convencional. Ello implica que el uso de estiércol compostado y la siega a diente de la flora arvense, permiten incrementar la sostenibilidad en este indicador, respecto a la utilización de productos químicos (fertilizantes, plaguicidas y herbicidas) y maquinaria agrícola.

C.4) Las externalidades generadas (Tabla 7) muestran unos valores absolutos mayores en todas las categorías en el manejo convencional, siendo el indicador promedio de este sistema 28,4, y adoptando el ecológico el valor 100.

El Calentamiento Global y Efecto Invernadero, el Potencial de Acidificación y la Contaminación Fotoquímica están asociados a la emisión de gases (CO₂, N₂O, CH₄...), lo que sugiere que la mayor utilización de maquinaria y el mayor consumo de energía en la fabricación de componentes tecnológicos (maquinaria, fertilizantes y plaguicidas), hace que la magnitud de los mismos sea netamente superior en el manejo convencional. La toxicidad humana y la ecotoxicidad acuática y terrestre se hallan fuertemente determinadas por el uso de productos químicos en general y plaguicidas en particular, por lo que estos impactos son notablemente más bajos en el cultivo ecológico. Las principales sustancias asociadas a la eutrofización son el nitrógeno, el fósforo y la materia orgánica, es decir, las derivadas del uso de fertilizantes. Dada la baja intensidad en el uso de los mismos, el Potencial de Eutrofización presenta valores muy bajos en ambos sistemas, siendo la externalidad con menor grado de diferenciación. Todo lo contrario ocurre con la pérdida de suelo que, básicamente debida a la escorrentía superficial ocasionada por el agua de lluvia, es más de cien veces superior en el olivar convencional que en el ecológico. En este sentido, es especialmente determinante el mayor grado de cobertura

⁸ De hecho, desde 2002 se han realizado sueltas de *Opius concolor* (bracónido parásito de la mosca del olivo) en diversas fincas ecológicas de esta comarca que mantienen cubiertas vegetales, al haberse detectado su supervivencia (Sánchez 2004)

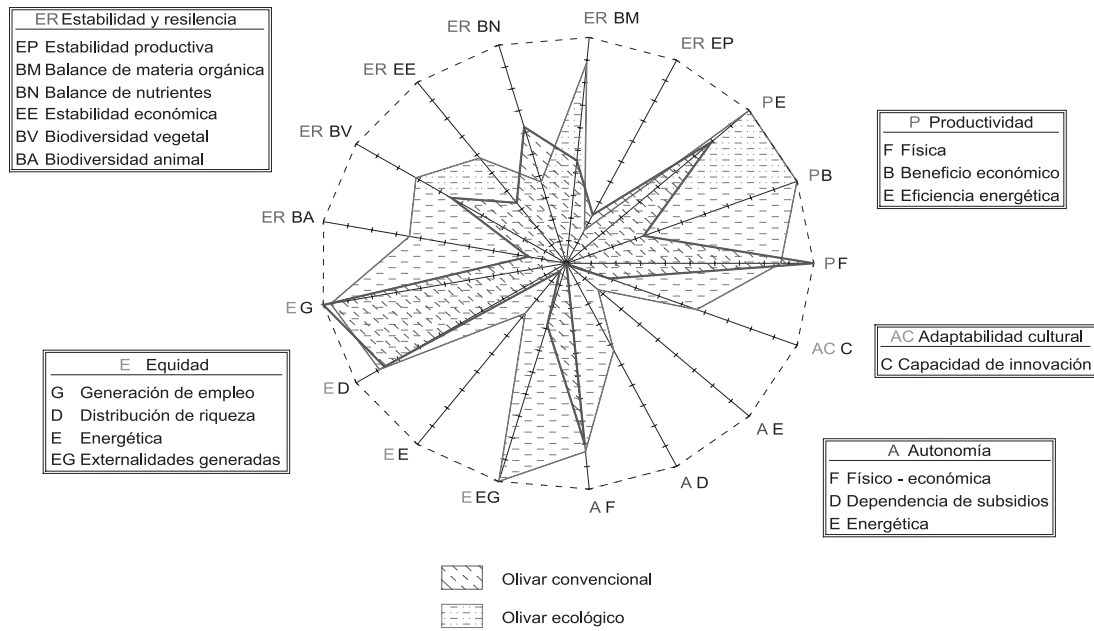


Figura 1. Integración gráfica de los indicadores de sostenibilidad en el olivar ecológico y convencional,

vegetal del suelo en el cultivo ecológico (3,5) que en el convencional (1,6), como consecuencia del mantenimiento de la vegetación espontánea.

D.1) El nivel de autonomía físico-económica ha resultado similar en ambos sistemas de producción: 83,4 en el ecológico y 80,1 en el convencional. La principal razón es el alto porcentaje de los costes totales que supone el empleo de mano de obra, recurso interno de la comarca.

D.2) Los cálculos realizados señalan una menor dependencia de subsidios en el olivar ecológico, que en todos los supuestos mantiene balances económicos positivos y superiores al convencional. Sin embargo, en el cultivo convencional, si se eliminase la subvención a la producción se obtendrían pérdidas, por lo que el indicador medio de autonomía respecto a la dependencia de subsidios es cero⁹ en este sistema, frente al 42,9 en el ecológico.

D.3) La autonomía energética ha resultado algo mayor en el cultivo ecológico (17,3) que en el convencional (1,6), como consecuencia de la utilización de estiércol compostado de ganadería propia o local. El limitante más importante para incrementar este indicador lo constituye el uso de maquinaria, cuyo componente energético mayoritario es el gasto de combustible.

E) Con respecto a la capacidad de innovación, en la Tabla 8 se muestra el porcentaje de aplicación de las labores analizadas, siendo más alto en el olivar ecológico en todos los casos.

Tabla 8. Adaptación tecnológica en el olivar ecológico y convencional (%).

	Siembra de veza	Pastoreo	Trampas para mosca	Promedio
Ecológico	17,4	86,9	65,2	56,5
Convencional	0	30,8	25	18,6

Una vez obtenidos los valores de todos los indicadores, se ha procedido a integrarlos construyendo el Gráfico 1. La medición de las áreas resultantes de unir entre sí tales valores muestra que la sostenibilidad del sistema de manejo ecológico del olivar (16.061 unidades) es notablemente mayor que la del convencional (9.368 unidades), ya que, como se ha mostrado con anterioridad, el primero ha sido superior en trece de los diecisiete indicadores analizados.

Conclusiones

La evaluación realizada en este trabajo supone, en primer lugar, abordar de una manera empírica la medición de la sostenibilidad de sistemas agrarios en España, mediante un enfoque que tiene en cuenta la perspectiva económica, social y ambiental de forma simultánea.

Esta evaluación muestra que las diferentes labores realizadas y tecnologías aplicadas en el cultivo ecológico y convencional del olivar, hacen que el primero presente un nivel más alto de sostenibilidad global y en la mayoría de los criterios de diagnóstico analizados.

La aplicación de estiércol compostado y la siembra de abonos verdes entre calles con respecto a la fertilización, el mantenimiento de vegetación espontánea e introducción de ganado para su eliminación con respecto

⁹ Dado que es un indicador de carácter condicional ("si eliminasen los subsidios"), este valor nulo no confiere la insostenibilidad a todo el sistema, es decir, los otros indicadores pueden compensar este valor.

al manejo del suelo, y el uso de trampas para el control de la mosca del olivo, provoca una mayor sostenibilidad del sistema ecológico. En efecto, la realización más frecuente de estas prácticas en este sistema, frente al empleo de insumos químicos y el mayor uso de maquinaria del manejo convencional, incide favorablemente sobre todos los criterios de diagnóstico relacionados con el uso de la energía (al utilizar energía renovable), sobre los pertenecientes al atributo de autonomía (al emplear mayoritariamente recursos locales, incluso propios), sobre la capacidad de innovación (al ser la mayoría reproducibles), sobre los de carácter ambiental como las externalidades, la biodiversidad vegetal y animal, y el balance de materia orgánica (al minimizar los impactos negativos sobre los recursos naturales), e incluso sobre los relacionados con la economía (al reducir algunos costes como el control de hierbas y de la mosca, o incrementar los ingresos con el cobro del pastoreo).

Mención aparte merece el balance de nutrientes, donde ambos sistemas (especialmente el ecológico) han mostrado un carácter deficitario, por lo que requieren un mayor aporte de fertilizantes. Esto podría incrementar a su vez otros criterios de diagnóstico como la productividad y estabilidad física, y la generación de empleo. Igualmente, hay que tener en cuenta que, dada la interrelación entre indicadores, podrían incrementarse los de carácter económico (si la respuesta productiva compensa el coste adicional), y que, por el contrario, si los fertilizantes empleados son químicos, aumentarían los efectos negativos sobre los recursos naturales y el uso de energía no renovable.

También se ha señalado que, tanto en el cultivo ecológico como en el convencional, la maquinaria es la principal consumidora de energía fósil, lo que limita la obtención de una mayor sostenibilidad ambiental (menores impactos negativos) y energética. Dado que la intensidad de su uso es ya de por sí baja en ambos sistemas, y su reducción resulta prácticamente imposible, una alternativa consistiría en sustituir el gasoil por una fuente energética renovable, como el biocombustible; aunque esta medida debería ser primero impulsada políticamente para que los olivicultores tuvieran la opción del cambio tecnológico que ello supondría. En este sentido, hay que tener en cuenta que la activación de políticas de apoyo a la generación de energía renovable y su posterior empleo, afectaría positivamente también a la sostenibilidad de otros procesos de producción.

En definitiva, la evaluación de la sostenibilidad de sistemas complejos, como los agrarios, requiere la aplicación de nuevos enfoques analíticos; a su vez, la consecución de una mayor sostenibilidad en los mismos requiere la aplicación de nuevas técnicas y tecnologías que, minimizando los impactos negativos sobre los recursos naturales, satisfagan realmente las necesidades de la generación presente sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras.

Referencias

- Alonso AM. 2003. Análisis de la sostenibilidad agraria: el caso del olivar en la comarca de Los Pedroches (Córdoba). Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba (inérita).
- Alonso AM, Guzmán GI. 2004a. Productividad y economía del olivar ecológico. En Manual de olivicultura ecológica. Córdoba: ISEC-Universidad de Córdoba, pp. 93-114.
- Alonso AM, Guzmán GI. 2004b. La sustentabilidad del olivar ecológico. En Manual de olivicultura ecológica. Córdoba: ISEC-Universidad de Córdoba, pp. 115-138.
- Altieri MA. 1987. *Agroecology: the Scientific Basis of Alternative Agriculture*. Boulder: Westview Press.
- Audsley E, Alber S, Clift R, Cowell S, Crettaz P, Gaillard G, Hausheer J, Jolliett O, Kleijn R, Mortensen B, Pearce D, Roger E, Teulon H, Weidema B, van Zeijts H. 1997. *Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture*. Concerted Action AIR3-CT94-2028.
- Conway GR. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24: 95-117.
- García M, Ibáñez J, Alvira F. 1992. *El análisis de la realidad social. Métodos y técnicas de investigación*. Madrid: Alianza Editorial.
- Gliessman SR. 1998. *Agroecology. Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. USA: Ann Arbor Press.
- Guzmán GI, Alonso AM. 2004. Manejo del suelo en el olivar ecológico. En Manual de olivicultura ecológica. Córdoba: ISEC-Universidad de Córdoba, pp. 27-54.
- Martínez J. 1991. *La Ecología y la Economía*. México: FCE.
- Masera O, Astier M, López-Ridaura M. 1999. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS*. México: Mundi-Prensa.
- Munda G. 2003. Social Multi-Criteria Evaluation (SMCE): Methodological Foundations and Operational Consequences. *European Journal of Operational Research* 158 (3): 662-677.
- Rehman T, Romero C. 1993. The application of the MCDM paradigm to the management of agricultural systems: some basic considerations. *Agricultural Systems* 41 (3): 239-255.
- Reijntjes C, Haverkort B, Waters-Bayer A. 1992. *Farming for the future. The Netherlands: ETC/ILEIA and the MacMillan Press Ltd*.
- Sánchez J. 2004. La biodiversidad, un componente clave para la sostenibilidad de los agroecosistemas. En Manual de olivicultura ecológica. Córdoba: ISEC-Universidad de Córdoba, pp. 73-91.
- Weidema BP, Meeusen MJG. 2000. *Agricultural data for Life Cycle Assessments*. Proceedings of the 2nd European Invitational Expert Seminar on Life Cycle Assessment of Food Products. The Hague: Agricultural Economics Research Institute.

CONTRIBUCIÓN DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COMPARACIÓN CON LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

Alberto García¹, Mamen Laurín², M José Llosá², Víctor González², M^a José Sanz³, José L Porcuna¹

¹Servicio Sanidad Vegetal, Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación, Valencia, ²Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Apdo 397, Catarroja Valencia, ³Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Valencia. E-mail: porcuna_jos@gva.es

Resumen

El sistema climático está determinado por un complejo sistema de variables, fundamentalmente por la emisión de combustibles fósiles y otros gases. Esto provoca un calentamiento global de la superficie de la tierra que altera los ciclos naturales de energía, produciéndose graves impactos ambientales. Existe un amplio consenso en que el calentamiento global de la tierra es causado por el aumento de las emisiones antropógenas de distintos Gases de Efecto Invernadero (GEIs). España ha asumido el compromiso de limitar el incremento de las emisiones netas de 6 GEIs al 15 % respecto de lo emitido en el año 1990, que se toma como año base, durante el quinquenio 2008-2012. En el año 2004 el índice anual de las emisiones de España estaba en torno al 145 % que supera en mucho el 115 % comprometido. La agricultura ecológica (AE) puede reducir sensiblemente las emisiones de CO₂ al tratarse de un sistema permanente de producción sostenida, por el ahorro energético que supone el mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante inputs internos (rotaciones, abonos verdes, cultivo de leguminosas, etc.), por la ausencia del uso de fitosanitarios y fertilizantes de síntesis y los bajos niveles de la externalización en la alimentación del ganado. La eficiencia de captación de carbono en sistemas de producción ecológica es de 41,5 t de CO₂ por hectárea, mientras que en los sistemas de producción convencional se reduce a 21,3 t de CO₂ por hectárea.

Palabras clave: Agricultura ecológica, cambio climático, GEI, protocolo de Kioto.

Summary

The contribution of organic farming to the mitigation of the climate change in comparison with conventional farming

The climate system is determined by a complex system of variables, basically by the emission of fossil fuels and other gases. This brings about a global warming of the earth's surface that alters natural energy cycles, thereby causing a serious environmental impact. There is a wide consensus that global warming of the earth is caused by an increase in the culturally induced emissions of different Greenhouse Gases. Spain has undertaken to limit the increase of net emissions of 6 Greenhouse Gases by 15% compared to emissions in 1990, taken as a base year, for the five year period from 2008 to 2012. In 2004, the annual index of emissions in Spain was at around 145% which greatly exceeds the 115% to which Spain had committed. As a permanent system of sustained production, ecological agriculture (EA) can bring about a notable reduction of CO₂, due to the energy savings achieved by maintaining soil fertility using internal inputs (rotations, green manure, cultivation of pulses, etc.), by the absence of plant protection products and synthesis fertilizers and low levels of externalization of cattle feeding. The efficiency of carbon capture in ecological production systems is 41.5t of CO₂ per hectare, whilst in conventional production systems it is reduced to 21.3t of CO₂ per hectare.

KeyWords: Ecological agriculture, climate change, GEG, Kyoto protocol.

Introducción

El sistema climático está determinado por un complejo sistema de variables, que se distorsiona debido a la actividad económica humana no sostenible (fundamentalmente por la emisión de combustibles fósiles y otros

gases). Esto provoca un calentamiento global en el que están involucrados, y cada vez de forma más grave, procesos de deforestación y desertización, la desaparición de la biodiversidad, el agujero de la capa de ozono, la disminución de agua dulce subterránea y de superficie, etc.

El calentamiento global (y desigual) de la superficie

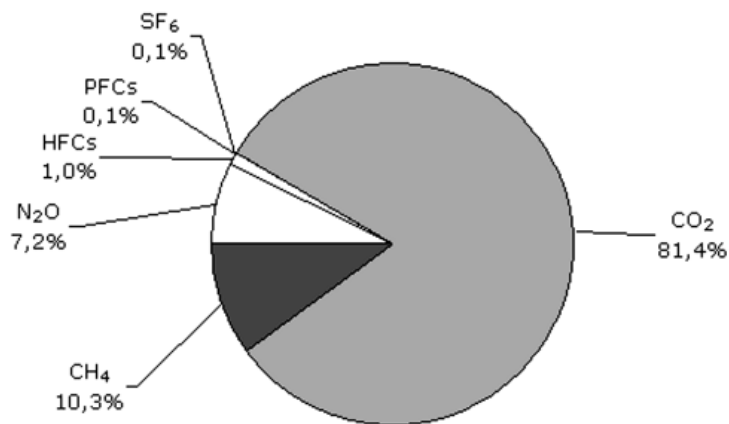


Figura 1. Distribución por gases de las emisiones de España en el año 2002. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.

de la Tierra hace que los ciclos naturales de energía, agua, carbono, oxígeno y nitrógeno se alteren. La variación de uno sólo de estos factores produce un efecto en cadena que realimenta daños e impactos ambientales que, a su vez, aceleran el mismo cambio climático.

Antecedentes

Existe un amplio consenso en que el calentamiento global de la Tierra es causado por el aumento de las emisiones antropógenas de distintos Gases de Efecto Invernadero (GEIs). Estos gases son principalmente: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nítrico (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), y hexafluoruro de azufre (SF₆). Las emisiones comenzaron a aumentar drásticamente en el siglo XIX debido a la Revolución Industrial y los cambios en el uso de la tierra. Muchas actividades que producen GEI resultan hoy esenciales para la economía mundial y forman una parte fundamental de la vida.

La Fig. 1 muestra la contribución de cada gas o grupo a las emisiones totales de España en el año 2002. Si agrupamos los gases por la importancia de sus contribuciones obtenemos tres conjuntos. El CO₂, con más del 80 %, determina en gran medida el total de las emisiones. El grupo del CH₄ y el N₂O, con una cuota del 18 %, se configura como el segundo bloque en importancia. Finalmente aparece el conjunto de los gases fluorados con una contribución inferior al 2 %.

Según datos del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC 2001) la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera ha aumentado de 280 ppm en 1750 a 367 ppm en 1999 (31 % de incremento). La concentración actual de CO₂ no ha sido superada en los últimos 420.000 años y probablemente tampoco en los últimos 20 millones de años, debiéndose este incremento a la oxidación de carbono orgánico por la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

Las concentraciones de metano (CH₄) en la atmósfera

han aumentado en un 150 % desde 1750, no habiendo sido superadas en 420.000 años (IPCC 2001). El CH₄ es el GEI más importante en la atmósfera después del vapor de agua y el CO₂ (IPCC 2000) aunque su potencial de calentamiento de la tierra es mucho mayor (Tabla 1) contribuyendo aproximadamente en el 15 % del calentamiento global de la tierra (Bockisch 2000, en Kotschi & Müller-Säman 2004).

Tabla 1. Potencial de Calentamiento de la Tierra (PCT) de los GEI aportados por la agricultura en comparación al CO₂.

Gas	Período de vida	Potencial de calentamiento de la Tierra (Horizonte en años)		
		20 años	100 años	500 años
CO ₂		1	1	1
CH ₄ ^a	12,0 ^b	62	23	7
N ₂ O	114 ^b	275	296	156

Fuente: IPCC 2001.

a) Los PCT del metano incluyen una contribución indirecta de la producción de H₂O y O₃ estratosféricos.

b) Los valores para el metano y el óxido nítrico son tiempos de ajuste, que incorporan los efectos indirectos de la emisión de cada gas en su propio período de vida.

La concentración de óxido nítrico (N₂O) en la atmósfera ha aumentado en un 16 % desde 1750, siendo la tendencia actual a seguir aumentando (en un 0,25 % desde 1980 a 1998) (IPCC 2001). Su potencial de calentamiento de la Tierra es aún mayor que la del metano (Tabla 1).

Las investigaciones desarrolladas por científicos de todo el mundo, reunidos en el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC, apuntan que los cambios en el clima pronosticados pueden llevar a transformaciones negativas e irreversibles en los sistemas de la tierra. De acuerdo con el IPCC (2001), la temperatura media global se ha incrementado alrededor de 0.6 °C a lo largo de los últimos cien años, siendo el incremento en España superior al promedio europeo, de 0.95 °C (AEMA). Globalmente, la década de los 90 fue la más cálida de las registradas y 1998 el año más cálido. El incremento de temperatura es sólo uno de los indicios del cambio climático, que viene acompañado de otros

fenómenos colaterales, entre los que destaca: el aumento del nivel de los océanos, la modificación en el patrón de los vientos, la cantidad y frecuencia de precipitaciones, y la mayor incidencia de fenómenos meteorológicos extremos (OECC).

El cambio climático y sus repercusiones para la vida han llevado a que se establezca a escala mundial una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC 1992) que ha sido ratificado por 174 países. Dicha Convención, reconoce por primera vez, en términos políticos y jurídicos, la existencia del problema del cambio climático y la contribución de las actividades humanas al mismo. Establece, como objetivo último, lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.

La Convención recoge los siguientes compromisos básicos:

- Compromisos generales para todos los países: elaboración de inventarios de emisiones; puesta en marcha de programas de contención de emisiones y de adaptación; cooperación al desarrollo; transferencia de tecnología y fomento de la investigación, educación y sensibilización.
- Compromisos específicos para los países desarrollados: adoptar medidas para limitar emisiones y proteger sumideros; informar regularmente de las medidas adoptadas y proporcionar recursos financieros a los países en desarrollo; así como facilitar la transferencia de tecnologías limpias.

Uno de los resultados de esta Convención es el denominado "Protocolo de Kioto", documento que establece acciones concretas para la reducción de los gases de efecto invernadero. En virtud del Artículo 3.1 del Protocolo de Kioto, 38 países desarrollados y aquellos en transición a una economía de mercado (Las Partes en el Anexo

I del Protocolo) adquieren el compromiso de reducir en un 5,2 % anual las emisiones antropógenas de los GEI en el período que va de 2008 a 2012. Esta reducción hace referencia a las emisiones según prácticas habituales en 1990 para CO_2 , N_2O y CH_4 , y 1995 para los HFCs, PFCs y SF_6 . Para lograr este objetivo y de acuerdo con el principio de responsabilidades comunes y diferenciadas, a cada país desarrollado se le asigna una cuota de reducción (p.e. EEUU (-7 %), Japón (-6 %), UE (-8 %)). A su vez la UE ha redistribuido su objetivo entre los Estados Miembros, según su nivel de desarrollo económico. En este reparto que se conoce como "burbuja comunitaria", a España le corresponde un incremento de un más 15 % (España debe conseguir la estabilización de las emisiones de GEIs en el 115 % de los niveles de 1990). En marzo de 2000 la Comisión puso en marcha el Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC) con el objetivo de cumplir este compromiso.

En la Fig. 2, podemos observar las emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas en CO_2 equivalente, desde el año base 1990 hasta el 2004 y el nivel de estabilización de las emisiones al que España se ha comprometido (115 %).

Distintas disposiciones del Protocolo de Kioto (Artículos 3.3, 3.4, 3.7, 6 y 12) establecen la posibilidad de tener en cuenta las actividades forestales, agrícolas y silvícolas para el cumplimiento de sus compromisos. Por el Artículo 3.4 del Protocolo de Kioto, el secuestro de carbono en los suelos agrícolas puede ser contabilizado en el balance total de CO_2 . Esta captura se traduce en créditos de carbono que tendrán un precio y que podrán ser comercializados durante el periodo de cumplimiento del Protocolo.

Los Acuerdos de Bonn (UNFCC 2001a) y Marrakesh (UNFCC 2001b), adoptados por los países participantes en la UNFCCC, clarifican la aplicación del Artículo 3.4 del Protocolo de Kioto y establecen directivas vinculantes para contabilizar e informar sobre los sumideros agrícolas y forestales de carbono.

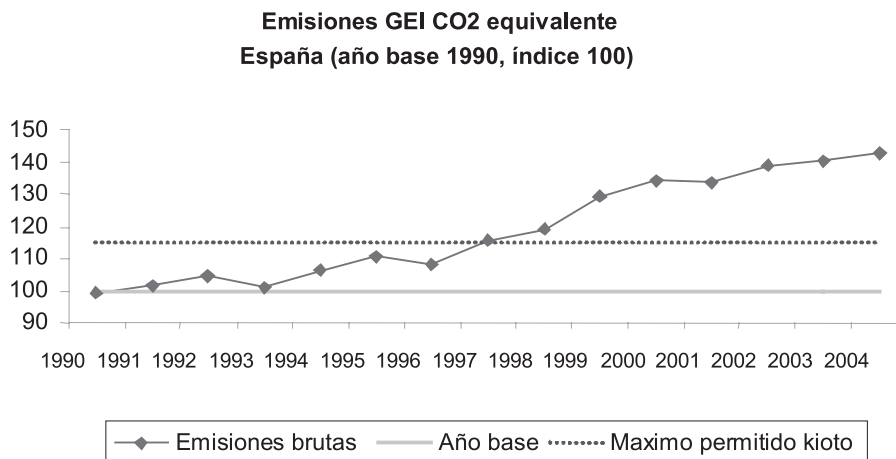


Figura 2. Emisiones de GEI CO_2 equivalente en España. Fuente: Worldwatch 2004.

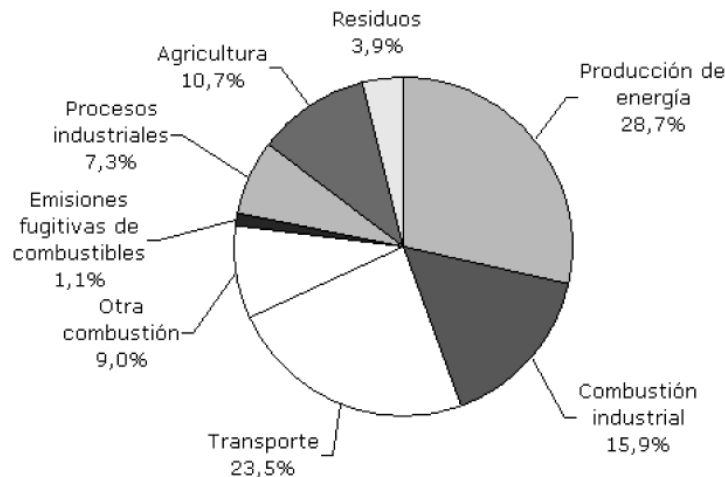


Figura 3. Distribución por sectores de las emisiones de España en el año 2002. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.

Agricultura y cambio climático

La agricultura representa la mayor proporción de uso de tierra por el hombre y es una fuente importante de emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero.

Los distintos ecosistemas terrestres actúan como fuentes de emisión y como sumideros de dióxido de carbono (CO_2), óxido nítrico (N_2O) y metano (CH_4), jugando un importante papel en el balance total de los mismos y, por tanto, en el calentamiento global de la Tierra (Fig. 3). La agricultura es la principal fuente de emisión de CH_4 y N_2O , y en menor medida aunque también importante, de CO_2 . Las prácticas agrícolas intensivas, como la cría de ganado, el cultivo de arroz, y el uso de fertilizantes emiten más del 50% del metano proveniente de actividades humanas y gran parte del óxido nítrico. Se piensa que el aumento del 31% de CO_2 atmosférico desde 1750 es el responsable del 60% del calentamiento inducido por los GEIs (Malhi *et al.* 2002); el N_2O contribuye en un 6% (IPCC 2001) y el metano en aproximadamente el 15% (Bokisch 2000, en Kotschi & Müller-Säman 2004). Se estima que las tierras de cultivo han sido responsables del 15% del total de emisiones de GEIs durante la década de los 90 (Cole *et al.* 1997).

En la Unión Europea, las principales fuentes de emisión de GEIs en agricultura son N_2O debido básicamente al uso de abonos nitrogenados, N_2O y CO_2 procedente de los suelos ricos en materia orgánica (p.e. arrozales y turberas), N_2O y CO_2 procedentes de la fermentación intestinal y CH_4 y N_2O procedentes del manejo de estiércoles (ECCP 7 – Agriculture 2001). Esta misma fuente cita que las emisiones procedentes de la agricultura en la UE-15 fueron el 41% del total de emisiones de CH_4 y el 51% de las de N_2O en 1990. Incluyendo las emisiones de CO_2 , el 11% del total de emisiones de GEIs en 1990 pueden ser atribuidas al sector agrario (ECCP 7 – Agriculture 2001).

Aunque el potencial de calentamiento de la tierra del CO_2 es relativamente bajo (Tabla 1) sus altas concentraciones en la atmósfera le convierten en el GEI que más

influye en el calentamiento global del planeta, de manera que con frecuencia las emisiones globales de GEIs se expresan como CO_2 equivalente (calculadas por su potencial de calentamiento). Según datos del Ministerio de Medio Ambiente (MMA 2004) en España el 80% del total de GEIs emitidos, expresados como CO_2 equivalente, correspondieron al dióxido de carbono, seguido del metano (11%) y por el óxido nítrico (8%). La contribución de la agricultura a las emisiones de GEIs en 2002 fue de un 10,67% (MMA 2003), ocupando el segundo lugar después del sector de la Energía.

El cambio climático afectará a la agricultura, a las actividades forestales y a la pesca de formas complejas, tanto positivas como negativas. Se puede esperar que las concentraciones globales de dióxido de carbono en la atmósfera aumenten de 350 ppm a 400 ppm para 2030. El CO_2 hace que los estomas de las plantas se estrechen, por lo que se reducen las pérdidas de agua y mejora el rendimiento en el uso de agua. El aumento en las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera también estimulará la fotosíntesis y tendrá un efecto fertilizante en numerosos cultivos.

Se prevé que las temperaturas globales medias aumenten entre 1,4 y 5,8 °C para 2100. En el año 2030 el incremento será bastante inferior a éste, entre 0,5 y 1 °C. El aumento será mayor en latitudes templadas. En éstas, el calentamiento global puede aportar beneficios para la agricultura. Las superficies adecuadas para cultivo aumentarán, la duración del período de cultivo aumentará, los costos de proteger el ganado durante inviernos largos disminuirán, los rendimientos de los cultivos mejorarán y los bosques pueden crecer con mayor rapidez. Sin embargo, estas ganancias pueden verse reducidas por la pérdida de algo de tierra fértil por inundación, especialmente en las llanuras costeras.

En zonas peor dotadas de agua, especialmente en los trópicos, el aumento de las temperaturas aumentará las pérdidas por evapotranspiración y reducirá los niveles de humedad del suelo. Algunas zonas cultivadas se harán in-

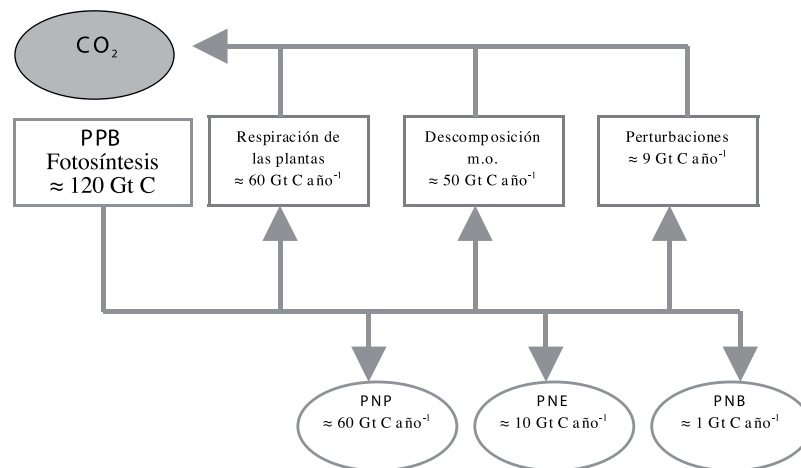


Figura 4. Potencial de captación de carbono por la biosfera. Fuente: IPCC 2000.

adecuadas para el cultivo y algunas de las zonas de pastos tropicales pueden hacerse cada vez más áridas.

El aumento de la temperatura también hará que aumente la gama de insectos dañinos para la agricultura e incrementará la capacidad de supervivencia de las plagas durante el invierno, que atacarán los cultivos de primavera. En los océanos, el aumento de la temperatura puede reducir el desarrollo del plancton, decolorar los arrecifes de coral y perturbar las pautas de crianza y alimentación de los peces. Las especies de agua fría, como el bacalao, pueden ver reducida su gama.

Unas temperaturas globales más altas también harán que aumente la pluviosidad. Sin embargo, las precipitaciones no se distribuirán de la misma manera entre las distintas regiones. De hecho, está previsto que en algunas zonas tropicales como el Asia meridional y el norte de América Latina reciban menos precipitaciones que antes.

También se espera que el clima se haga más variable que en la actualidad, con aumentos de la frecuencia y gravedad de acontecimientos extremos como ciclones, inundaciones, tormentas de granizo y sequías. Esto provocará mayores fluctuaciones en los rendimientos de los cultivos y en la oferta local de alimentos, así como mayores peligros de desprendimientos de tierras y daños por erosión.

Se espera que el nivel medio del mar aumente de 15 a 20 cm para 2030, y 50 cm para 2100. El aumento provocará la pérdida de tierras bajas por inundación, infiltración de agua de mar y mareas a causa de tormentas. El asentamiento debido a una extracción excesiva de aguas subterráneas puede exacerbar el problema de la infiltración en algunas zonas. También se producirán daños en los cultivos de hortalizas y en la acuicultura en zonas bajas y en pesquerías que dependan de manglares para sus terrenos de desove. Los efectos serán más graves en zonas costeras, especialmente en deltas densamente poblados y utilizados para la agricultura, del tipo de los que se encuentran en Bangladesh, China, Egipto y la India y las tierras continentales de Asia me-

ridional. Sólo en la India, las pérdidas para 2030 pueden alcanzar la cifra de 1.000 a 2.000 km^2 , lo que provocará la destrucción de 70.000 a 150.000 medios de existencia.

Todavía hay incertidumbres considerables en la mayoría de las proyecciones. El efecto global sobre la producción de alimentos en 2030 será probablemente pequeño: por ejemplo, está previsto que los rendimientos de cereales disminuyan aproximadamente el 0,5 % para el decenio de 2020. Pero habrá grandes variaciones regionales: se piensa que es posible un aumento de los rendimientos en las regiones templadas; en el Asia oriental, el Sahel y el África meridional el resultado podría ser positivo o negativo; en otras regiones en desarrollo lo más probable es que se produzca una disminución de los rendimientos. En todos estos casos, el cambio potencial de los rendimientos es del 2,5 % o menos, hacia arriba o hacia abajo, para 2030 y del 5 % o menos para 2050.

Dióxido de carbono

El carbono se intercambia de forma natural entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera por medio de la fotosíntesis, la respiración, la descomposición y la combustión. Esto constituye el ciclo del carbono. El potencial de secuestro de la biosfera terrestre en la captación de carbono queda resumida en la Fig. 4. La Producción Primaria Bruta (PPB) es la absorción de carbono atmosférico por las plantas como consecuencia de la fotosíntesis (aproximadamente $120 \text{ Gt C a año}^{-1}$). Las pérdidas como consecuencia de la respiración de las plantas da como resultado la Producción Neta Primaria (PNP, aprox. $60 \text{ Gt C a año}^{-1}$). Posteriores pérdidas debido a la descomposición de la materia orgánica (aprox. $50 \text{ Gt C a año}^{-1}$) reducen esta captación en la denominada Producción Neta de Ecosistema (PNE, aprox. $10 \text{ Gt C a año}^{-1}$). Nuevas pérdidas se producen como consecuencia de distintas perturbaciones como incendios, erosión, plagas y actividades humanas. El balance total resultante de los ecosistemas terrestres puede ser interpretado como la

Tabla 2. Estimaciones globales de fuentes recientes de emisión de CH₄ y N₂O que están influenciadas por las actividades de uso de la tierra (Prather *et al.* 1995, en IPCC 2000).

Fuentes de CH ₄	Mt CH ₄ año ⁻¹	Gt C-eq año ^{-1 a b}
Ganadería (fermentación intestinal y residuos)	110 (85-130)	0.6 (0.5-0.7)
Arrozales	60 (20-100)	0.3 (0.1-0.6)
Quema de biomasa	40 (20-80)	0.2 (0.1-0.5)
Humedales naturales	115 (55-150)	0.7 (0.3-0.9)
Fuentes de N ₂ O	Mt N año ⁻¹	Gt C-eq año ^{-1 a c}
Tierras de cultivo	3.5 (1.8-5.3)	0.9 (0.5-1.4)
Quema de biomasa	0.5 (0.2-1)	0.1 (0.05-0.3)
Ganadería	0.4 (0.2-0.5)	0.1 (0.05-0.13)
Suelos de bosques tropicales	3 (2.2-3.7)	0.8 (0.6-1)
Suelos de las sabanas	1 (0.5-2)	0.3 (0.1-0.5)
Suelos de bosques templados	1 (0.1-2)	0.3 (0.03-0.5)
Prados naturales zonas templadas	1 (0.5-2)	0.3 (0.1-0.5)

^a 12 Gt C-equivalente = 44 Gt CO₂-equivalente.

^b Emisiones de carbono-equivalente basadas en un Potencial de Calentamiento Global del CH₄ de 21.

^c Emisiones de carbono-equivalente basadas en un Potencial de Calentamiento Global del N₂O de 310.

Fuente: IPCC 2000.

Producción Neta de la Biosfera (PNB) que actualmente supone $0,7 \pm 1$ Gt C año⁻¹ (IPCC 2000).

La biosfera terrestre en su conjunto ha ganado carbono durante los años ochenta y noventa, es decir, que el CO₂ liberado por los cambios en el uso de la tierra (deforestación, fundamentalmente) fue más que compensado por otras zonas de absorción (IPCC 2001). El carbono es almacenado por la biosfera tanto en forma de vegetación como en forma de carbono orgánico en el suelo. Los bosques son los principales sumideros de este carbono. El secuestro de CO₂ por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de carbono. En el caso de la agricultura es el aumento de carbono en el suelo la forma más efectiva de captar carbono de una forma más o menos permanente. Otra de las formas más efectivas es la producción de biofuel que sustituyan el uso de combustibles fósiles (Sanz 2002).

España ha asumido el compromiso de limitar el incremento de sus emisiones netas (emisión menos absorción) de 6 gases de efecto invernadero al 15 % respecto de lo emitido en el año 1990, que se toma como año base, durante el quinquenio 2008-2012. Es importante destacar que el compromiso de Kioto se refiere a las emisiones netas, por lo que habrá que tener en cuenta el papel de los bosques como sumideros de carbono y la utilización de los mecanismos de flexibilidad para calcular el balance neto de las emisiones de España. En el año 2004 el índice anual de las emisiones de España estaba en torno al 145 % que supera en mucho el 115 % comprometido, con lo que la situación es complicada y no resulta nada fácil de resolver.

El uso de la tierra, los cambios en este uso y la silvicultura

(sector UTCUTS) son los principales factores que modifican las fuentes y sumideros terrestres de carbono (Tabla 2). A escala mundial, se estima que un tercio del incremento del CO₂ atmosférico desde 1850 proviene de los cambios en el uso de la tierra, fundamentalmente la tala de bosques para su conversión a tierras de cultivo (de Sherbinin 2002).

También la agricultura itinerante, las explotaciones madereras (Kotschi & Müller-Säman 2004) y la intensificación de la agricultura (Mahli *et al.* 2002) son citados como factores de cambio que han aumentado asimismo las emisiones de CO₂ a la atmósfera. En los sistemas agrícolas, las pérdidas del carbono del suelo se deben fundamentalmente al laboreo. Adecuadas prácticas agrícolas como el manejo del riego o diferentes sistemas de fertilización pueden aumentar los depósitos de carbono en el suelo. En cualquier caso, sigue habiendo grandes incertidumbres relacionadas con el cálculo del CO₂ liberado debido a los cambios en el uso de la tierra.

Las tierras de cultivo suponen el 5,7 % de los stocks globales de carbono en la vegetación y en el suelo (hasta 1 metro de profundidad) (WBGU 1998). La mayoría de estas tierras presentan elevadas tasas de captación de carbono, pero mucha de la ganancia se exporta en forma de productos agrícolas y restos de cultivos, siendo rápidamente liberada a la atmósfera. Si bien el carbono es de nuevo capturado en la posterior campaña, muchos suelos de uso agrícola son actualmente fuentes netas de emisión de carbono (IPCC 2000). La agricultura ecológica es reconocida como un sistema de cultivo que puede revertir dicha situación (ECCP 2004a).

Globalmente, los depósitos de carbono en el suelo superan los de la vegetación (en tierras de cultivo 128 frente

a 3 Gt C según WBGU (1998)) por lo que los cambios en los depósitos de carbono del suelo son por lo menos tan importantes como los cambios que se puedan producir en los depósitos en la vegetación. De acuerdo con las estimaciones aportadas por el Grupo de Trabajo sobre Sumideros de Carbono y Agricultura (ECCP 2004b), el potencial de fijación de CO₂ de los suelos agrícolas en la EU-15 es de 60 a 70 Mt al año, lo que supone del 1,5 al 1,7 % de las emisiones antropogénicas de CO₂ y constituiría el 19-21 % de la reducción total de 337 Mt de CO₂ año⁻¹ a la que se ha comprometido la UE-15 para el periodo 2008-2012. Por tanto, el potencial de absorción del sector agrario puede contribuir de forma significativa en el cumplimiento del compromiso de reducción de GEIs del 8 %.

La configuración de una bolsa de carbono aplicada a los diferentes usos de la tierra supondría poder contabilizar las fuentes de emisión y sumideros potenciales terrestres y ayudaría a identificar otros sumideros cuya capacidad se podría incrementar mediante un manejo adecuado. Al mismo tiempo, a escala nacional, esta bolsa se incluiría como parte del inventario de GEI que cada país firmante del Convenio Marco sobre el Cambio Climático está obligado a elaborar anualmente (Steffen *et al.* 1998).

Metano y óxido nitroso

Las fuentes emisoras del metano atmosférico son tanto naturales (p.ej. humedales.) como inducidas por el ser humano (p.ej. agricultura, actividades de gas natural y vertederos.). Según Ahlgrimm & Gaedeken (1990, en Kotschi & Müller-Säman 2004) dos terceras partes de las emisiones totales de CH₄ son de origen antropógeno y la mayoría provienen de la agricultura.

Aunque parecen haberse identificado los principales contribuyentes al balance mundial del CH₄, la mayoría de ellos son bastante inciertos cuantitativamente, por la dificultad de evaluar los índices de emisión de fuentes muy variables en la biosfera. El suelo se considera el único sumidero significativo de CH₄ (Mosier *et al.* 1993), estimándose que la concentración atmosférica sería el doble sin este sumidero (Ojima *et al.* 1993).

Como en el caso anterior, el N₂O es un GEI con fuentes de emisión naturales y antropógenas. Aunque también son considerables las incertidumbres en cuanto a las emisiones de fuentes individuales, según el IPCC (2001) se estima que el 41 % de las emisiones de óxido nitroso son de origen antropógeno, y por lo menos el 60 % de las emisiones brutas globales de N₂O evolucionan desde los suelos (Prather *et al.* 1995, en Langeveld *et al.* 1997) provenientes de la transformación microbiana del amonio a nitrato (nitrificación) y de nitrato a N₂ (desnitrificación). Por tanto, la fertilización nitrogenada (orgánica y mineral) y el nitrógeno fijado por las leguminosas aumentan las emisiones de N₂O (Bouwman 1990, Houghton *et al.* 1992).

La mitigación del cambio climático

Modelos de desarrollo distintos dan como resultado

emisiones de gases de efecto invernadero muy diferentes. Los escenarios de mitigación evaluados por el IPCC sugieren que el tipo, magnitud, calendario y costes de la mitigación dependen de las circunstancias socio-económicas nacionales, de las opciones tecnológicas y del nivel deseado de estabilización de la concentración de GEIs en la atmósfera.

Las políticas de mitigación del cambio climático pueden ayudar a promover el desarrollo sostenible, siempre que sean consistentes con unos objetivos sociales más amplios. Algunas acciones pueden dar lugar a beneficios extensivos a campos como: la salud humana; el empleo; la protección de los bosques, los suelos y las aguas; la innovación tecnológica, entre otros.

Las diferencias en la distribución de los recursos (tecnológicos, naturales y financieros) entre naciones y regiones, así como las diferencias en los costes, son cuestiones clave en el análisis de las opciones de mitigación, así como en el debate sobre la diferente contribución de los países. Los escenarios de estabilización de GEIs evaluados en el tercer informe del IPCC asumen que los países desarrollados y aquellos con economías en transición serán los primeros en limitar y reducir las emisiones.

Opciones para limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover los sumideros de CO₂

Desde la realización del segundo informe del IPCC, en 1995, se han producido progresos tecnológicos significativos y a una velocidad mayor de la que se anticipaba. Las posibilidades tecnológicas para reducir las emisiones son en la actualidad significativamente más amplias.

Entre las novedades que mejoran la capacidad de respuesta humana ante el problema podemos citar la mejora de la eficiencia y la gestión energética, el cambio a los combustibles de biomasa y con bajo contenido en carbono, las energías renovables, las tecnologías de emisión cero, la reducción de subproductos industriales y el almacenamiento subterráneo de dióxido de carbono.

Los bosques, tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen un potencial de mitigación significativo. El "almacenamiento" del carbono por la vegetación de estas zonas puede dar tiempo, además, para que se desarrollen y pongan en marcha otras opciones. Este tipo de mitigación que podemos llamar biológica, puede seguir tres estrategias: (a) la conservación de las reservas de carbono ya existentes, (b) la fijación de carbono por aumento de las mismas, y (c) la promoción de productos biológicos producidos de manera sostenible, p.e., la madera, en vez de materiales de construcción que requieren fuertes gastos energéticos en su elaboración, o la biomasa en lugar de algunos combustibles fósiles.

La mayoría de las previsiones indican que las opciones tecnológicas conocidas podrían conseguir un amplio margen de niveles de estabilización del CO₂ atmosférico, pero la puesta en marcha de las mismas requiere cambios socio-económicos e institucionales. Los cam-

bios en las normas colectivas y en los comportamientos individuales pueden tener efectos significativos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los modelos actuales incentivan la producción y el consumo intensivo de recursos, por ejemplo en los sectores de la construcción y el transporte, que a su vez aumentan la emisión de gases de efecto invernadero. Pero es posible, a través del aprendizaje social y los cambios de la estructura institucional, combinados con la innovación tecnológica, hacer contribuciones relevantes a la mitigación del cambio climático mediante una transformación hacia sistemas y hábitos sostenibles.

La FAO propone las siguientes medidas para reducir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero:

- Eliminar subvenciones e introducir impuestos medioambientales en el uso de fertilizantes químicos y energía.
- Mejorar la eficacia del uso de fertilizantes.
- Desarrollar variedades de arroz que emitan menos metano.
- Mejorar la gestión de los residuos del ganado.
- Restaurar tierra degradadas.
- Mejorar la gestión de los residuos de los cultivos.
- Expandir la explotación agroforestal y la reforestación.

El papel de la agricultura ecológica en la mitigación de GEIs

La agricultura ecológica contribuye al ciclo de carbono de diversas formas: cerrando los ciclos de nutrientes (incluyendo la ganadería en sistemas agrícolas), autoabasteciendo de recursos e insumos y utilizando recursos locales; manteniendo las características físico-químicas de los suelos; reduciendo la erosión gracias a la utilización de cubiertas vegetales y setos; utilizando un mayor porcentaje de fuentes energéticas renovables y un menor consumo directo de combustible fósil (maquinaria y mano de obra) e indirecto (evita usar productos que requieren alto coste energético en su fabricación como fertilizantes de síntesis, herbicidas, pesticidas, alimentos para animales, ...)

Además su contribución al medio ambiente es mucho más extensa, ya que conserva la biodiversidad (flora, fauna y microorganismos del suelo), la calidad del agua (menor contaminación por nitratos, fósforo y pesticidas, menor coste energético de recuperación de aguas para su reutilización), menores emisiones de óxido nitroso y dióxido de carbono, importante eficiencia energética en ciertos tipos de sistemas, mejor balance de nutrientes en la superficie del suelo, menor generación de residuos y embalajes y no utiliza sustancias que dañen la capa de Ozono.

La agricultura ecológica puede reducir sensiblemente las emisiones de CO₂ al tratarse en primer lugar de un sistema permanente de producción sostenida, evitando el obligado desplazamiento de cultivos por agotamiento

del suelo (Kotschi & Müller-Säman 2004). Asimismo, en sistemas intensivos agrícolas, el uso de combustibles fósiles en el balance energético es significativamente mayor en la agricultura convencional (utiliza un 50 % más de energía según Mäder *et al.* 2002). Esto es así debido fundamentalmente al ahorro energético que supone el mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante inputs internos (rotaciones, abonos verdes, cultivo de leguminosas, etc.), la ausencia del uso de fitosanitarios y fertilizantes de síntesis y los bajos niveles de la externalización en la alimentación del ganado.

Esto es así, debido a que en agricultura ecológica la fertilidad del suelo se mantiene a través de insumos internos (estiércol, producción de leguminosas, amplias rotaciones de cultivo, etc.). Por otro lado, se reduce la energía necesaria para producir fertilizantes químico-sintéticos y agentes de protección de plantas, a los que se renuncia en esta agricultura. Por último, se limita el uso de alimentos animales externos que en muchas ocasiones son transportados desde largas distancias antes de ser consumidos.

Ello tiene como consecuencia que los métodos de agricultura ecológica, ofrecen un balance energético más favorable, en casi todos los casos (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación en el uso de energía en sistemas agrícolas ecológicos y convencionales.

País y cultivo	Uso de energía Ratio de ecológica a convencional (%)	% aumento en la energía requerida para un 1 % de aumento de cosecha en sistemas convencionales
Reino Unido		
Trigo de invierno	38	+3.5
Patata	49	+4.9
Zanahoria	28	+1.6
Brócoli verde	27	+4.2
EEUU		
Trigo	68	+1.7
Filipinas		
Arroz	33	+7.2

Fuente: Kotschi & Müller-Säman (2004), Pretty & Ball (2001, adaptado de Pretty 1995), Cormack & Metcalfe (2000).

Por lo que respecta al secuestro de dióxido de carbono en suelo y vegetación, el IPCC (2000) reconoce que la mejora del uso de las tierras de cultivo puede suponer significativas ganancias en la captación de carbono. El Grupo de Trabajo sobre Sumideros y Agricultura del Programa Europeo sobre Cambio Climático (ECCP 2004a) concede a la agricultura ecológica un potencial de captación de CO₂ de 0 a 1,98 toneladas por ha y año, dependiendo de las prácticas aplicadas.

Diferentes experimentos de largo plazo ofrecen evidencia de que la adición regular de materiales orgánicos al suelo, es la única vía para mantener o incrementar el carbono orgánico en el suelo. El desarrollo sistemático de tecnolo-

Tabla 4. Medidas para incrementar los stocks de carbono en los suelos agrícolas y tasas de secuestro potencial de carbono (t CO₂ ha⁻¹ y año⁻¹) (ECCP 2004a).

Medida	Tasa de secuestro potencial de carbono en el suelo (t CO ₂ ha ⁻¹ y año ⁻¹)	Grado de incertidumbre estimada (%)	Referencia /reseñas
No laboreo	1.42	>50	1,2
Laboreo reducido	<1.42	>>50	3
Reservas naturales	<1.42	>>50	4
Estiércol	1.38	>50	1
Restos de cultivos	2.54	>50	1
Compostaje	≥1.38	>>50	5,6
Rotaciones mejoradas	>0	Muy alto	7
Fertilización	0	Muy alto	8
Riego	0	Muy alto	8
Cultivos bioenergéticos	2.27	>>50	1
Extensificación	1.98	>>50	1
Agricultura ecológica	0-1.98	>>50	9

1. Smith *et al.* (2000); valores calculados por hectárea usando el contenido medio de carbono de suelos de cultivo (hasta 30 cm) de 53 t C ha⁻¹; Vleeshouwers & Verhagen (2002). Según algunos expertos, la acumulación de carbono que resulta del no-laboreo está sobrestimado en la bibliografía, algunos datos aportados como argumentos no parecen fiables, por lo tanto, en este caso el secuestro es muy dudoso.
2. Incerteza estimada a partir del 95 % del intervalo de confianza sobre la media – incerteza estadística solo de la media; la incerteza real es mayor.
3. Estimado de los documentos revisados en Smith *et al.* (2000).
4. Se asume el mismo dato que en el no-laboreo de Smith *et al.* (2000).
5. Se asume que es el mismo dato que el estiércol de Smith *et al.* (2000).
6. Los valores de secuestro están basados en una aportación de 1 t ha⁻¹ y año⁻¹. Mayores aportaciones conllevan mayores tasas de secuestro. El factor limitante de las aportaciones de compost es la cantidad que se puede producir para una determinada zona.
7. Mínima influencia en los documentos revisados en Smith *et al.* (2000).
8. La ganancia neta de carbono en el caso del riego y la fertilización aparece como insignificante o negativa cuando se tiene en cuenta el carbono emitido en la fabricación de los fertilizantes y en el bombeo del agua (Schlesinger 1999).
9. La AE está en expansión en Europa, pero esta modalidad de cultivo incluye una combinación de prácticas como la extensificación, la mejora de las rotaciones, la incorporación de restos de cultivo o el uso generalizado de estiércol. Todo ello contribuye a un mayor secuestro de carbono en diferente medida según el grado de aplicación de cada práctica. Por el contrario, la eliminación mecánica de la flora adventicia puede incrementar las necesidades de laboreo. Por tanto, es imposible dar una cifra para el potencial de secuestro de la agricultura ecológica. En este caso, se ha optado por dar los potenciales más bajo y más alto estimados.

Fuente: ECCP 2004a.

gías de fertilización orgánica ha sido una de las principales preocupaciones de la agricultura ecológica desde hace varias décadas en el que se han alcanzado resultados interesantes. Los elementos clave de este desarrollo han sido: a) la optimización de la cantidad y la aplicación de estiércoles, cuyos elementos básicos han sido la integración de la producción agrícola vegetal y animal y el reciclaje sistemático de desperdicios orgánicos; b) la mejora de las técnicas de elaboración o procesado de residuos orgánicos para obtener una alta calidad de estiércol. A través del compostaje de residuos animales y vegetales se minimizan las pérdidas en los procesos de humidificación, obteniéndose una alta proporción de humus sólido.

Por último, las rotaciones largas y diversificadas, así como el cultivo de leguminosas, característico de la agricultura ecológica, contribuyen también a incrementar el carbono orgánico del suelo.

En la tabla 4 se incluyen algunas de las medidas que pueden incrementar las tasas de secuestro de carbono en los suelos de uso agrícola.

El principio básico de la agricultura ecológica de ajuste de nutrientes y ciclos de energía mediante el manejo de la materia orgánica en el suelo le da a esta modalidad de cultivo un particular potencial de captación. Por ejemplo, hay un amplio consenso en que el incremento de los niveles de materia orgánica en el suelo (mayor capacidad de captación de C, además de mayor capacidad productiva) puede ser logrado a través de aportaciones regulares de estiércol y reincorporación de restos de cultivos, empleo de abonos verdes y rotaciones con leguminosas (Coleman *et al.* 1997; Kätterer & Andren 1999, Leigh & Jhonston 1994). Asimismo, la aplicación exclusiva de fertilizantes nitrogenados de síntesis contribuye con frecuencia al incremento de los procesos de oxidación de la materia orgánica y en consecuencia a incrementar las pérdidas de carbono orgánico del suelo (Kotschi & Müller-Säman 2004).

También las técnicas de no laboreo, mínimo laboreo o laboreo de conservación, aconsejadas y empleadas en agricultura ecológica, reduce los procesos de oxidación y, en

consecuencia, la liberación de CO_2 a la atmósfera (Heenan *et al.* 2004).

Según Raupp (2001) después de un ensayo de 18 años, los suelos con diferentes abonados a base de estiércol presentaban de 3 a 8 t/ha de C más que aquellos fertilizados con abonos minerales. Otros estudios citados por Kotschi & Müller-Säman (2004) (Bachinger 1996, Raupp 1995, Fliebbach & Mäder 1997 & Gehlen 1987) demuestran que la biomasa microbiana y la ratio Cmic/Corg es significativamente más alta en las parcelas fertilizadas regularmente con abonos orgánicos. Al mismo tiempo, el cociente metabólico (un indicador de las necesidades energéticas de los organismos del suelo) es inferior, lo cual provoca un mayor desarrollo de la biomasa radicular (Kotschi & Müller-Säman 2004). Esto es de especial importancia ya que la biomasa radicular contribuye más a la acumulación de carbono en suelos que la biomasa que queda por encima del suelo (Kotschi & Müller-Säman 2004).

Según la información reflejada en la tabla 5, la diferencia en la eficiencia de captación de carbono en agricultura ecológica respecto de la convencional es 20,2 t/ha de CO_2 . Si tomamos los datos publicados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en 2004, la superficie de agricultura ecológica es de 733.182 ha lo que se traduciría en una eficiencia de captación de carbono de 30.427.053 toneladas de CO_2 . Si la superficie de agricultura ecológica aumentara en un 20 %, la eficiencia de captación del carbono alcanzaría las 36.512.463 toneladas de CO_2 .

La rotación de cultivos, ampliamente practicada en agricultura ecológica (cultivos herbáceos), además de ayudar a reducir las pérdidas de nitrógeno, aumenta la biomasa subterránea y, por tanto la capacidad de retención de C. En la tabla 5 se muestra los resultados de un estudio comparativo sobre la capacidad de secuestro de carbono en sistemas de cultivo convencional y ecológico (Haas & Köpke 1994).

La agroforestación, otra técnica aconsejada y practicada en la agricultura ecológica, consistente en la introducción

de masa arbórea en los distintos agrosistemas también puede contribuir en un aumento del secuestro de CO_2 que Shröder (1994) establece en un almacenamiento adicional de carbono de 3.9 t/ha y año en climas templados.

Las emisiones de N_2O en agricultura se deben fundamentalmente a la excesiva fertilización y consecuentes pérdidas de nitrógeno. En los sistemas de producción ecológica los excedentes de nitrógeno y sus pérdidas se minimizan ya que no se utilizan abonos sintéticos y se ajustan las necesidades nutritivas a la producción. Además, las tasas de estabulado del ganado son limitadas y la dieta animal es menor en proteínas, lo cual también contribuye a la reducción de las emisiones de N_2O . Según Berg (1997), en Kotschi & Müller-Säman (2004), la reducción de N en la dieta animal es la opción más barata para reducir las emisiones de N_2O .

La reducción en las emisiones de metano mediante sistemas de producción ecológica puede derivarse del aumento de la actividad biológica del suelo y, por tanto, el incremento de la oxidación del CH_4 . Por el contrario, las aplicaciones periódicas únicamente de urea o amoníaco inhiben la oxidación de CH_4 (Hutsch 2001). Aunque la técnica del compostaje no se recomienda como una opción de mitigar la emisión de CH_4 (Bates 2001), la digestión anaeróbica controlada del estiércol y residuos combinado con la producción de biogás es la opción más prometedora para reducir las emisiones de CH_4 (Jarvis & Pain 1994). También el cambio en la dieta de los rumiantes en la ganadería ecológica puede provocar reducciones en la emisión de este gas (Zeddies 2002, en Kotschi & Müller-Säman 2004). Por lo que se refiere a arrozales, la investigación sobre técnicas de reducción de las emisiones de metano se encuentra "en pañales".

Como contrapartida, la ganadería ecológica puede suponer un suave incremento de las emisiones de CH_4 al aumentar la proporción de rumiantes y reducirse la productividad (FAO 2002).

Por último, aunque la utilización de biomasa como sus-

Tabla 5. Captación de carbono por sistemas agrícolas ecológicos y convencionales.

	Toneladas de CO_2 / ha		
	Ecológica	Convencional	Diferencia
Cultivo comercial (cash crops)			
Biomasa vegetativa	3.76	4.95	-1.18
Biomasa radicular	1.44	0.89	0.55
Cultivos de captación (catch crops)			
Biomasa vegetativa	0.55	0.22	0.33
Biomasa radicular	0.22	0.09	0.13
Flora adventicia			
Biomasa vegetativa	0.22	0.04	0.17
Biomasa radicular	0.04	0.01	0.03
Rendimiento bruto (secuestro)	6.23	6.19	0.04
Input de energía (emisión)	0.15	0.29	-0.14
Rendimiento neto (secuestro)	6.08	5.91	0.18
Eficiencia de captación de carbono	41.5	21.3	

Fuente: Haas & Köpke (1994).

Tabla 6. Potencial de reducción directa e indirecta en la emisión de GEIs derivado de los principios de la agricultura ecológica.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1. Uso de la tierra agrícola y su manejo			
Cubierta permanente del suelo	+++	-	+
Reducción de laboreo	+	-	+
Restricción del barbecho en regiones semiáridas	+	-	-
Diversificación de las rotaciones de cultivo	++	-	+
Restauración de la productividad en suelos degradados	++	+	-
Agroforestación	++	-	-
2. Utilización de estiércol y residuos			
Reciclaje de residuos urbanos y compost	++	-	+
Biogás de los purines	-	++	-
3. Ganadería			
Cría y manutención longevas	-	++	+
Restricción de la densidad de estabulado	-	+	+
Reducción de las importaciones de pienso	+	+	-
4. Fertilización			
Restricciones de la externalización de nutrientes	++	-	++
Utilización de leguminosas	+	-	+
Integración de la producción animal y vegetal	++	-	+
5. Cambios en la conducta del consumidor			
Consumo de productos regionales	+++	-	-
Aumento del consumo de vegetales	+	++	-
+++ muy alto, ++ alto, + bajo, - sin potencial			

Fuente: Kotschi & Müller-Säman (2004).

tituto de combustibles fósiles no es exclusiva de la agricultura ecológica, cuando esta biomasa es cultivada mediante sistemas de agricultura ecológica en lugar del sistema convencional, las emisiones de GEIs son más bajas (Kotschi & Müller-Säman 2004). No debemos olvidar que el desarrollo de las ideas fundamentales así como de los equipos e instalaciones requeridas ha sido impulsado por el sector de la agricultura ecológica.

En la tabla 6 (Kotschi & Müller-Säman 2004) se resume el potencial de la agricultura ecológica en la reducción de emisiones agrícolas de GEIs, de acuerdo a sus principios.

En general, se puede afirmar que el efecto de la agricultura ecológica en la reducción de GEIs puede ser muy significativa en el caso de CO₂ y N₂O, y en menor medida en el caso del CH₄ (Kotschi & Müller-Säman 2004).

La contribución de la producción ecológica debe servir también para generar servicios ambientales contribuyendo a la reducción del efecto invernadero (generado por otras prácticas agrícolas e industriales). Es una práctica que trata de no contribuir más al cambio climático, garantiza mejor salud para las personas (evita contaminaciones de agua, suelos,...) y da seguridad alimentaria en medio de un cambio de clima que hace peligrar la sostenibilidad de la agricultura.

En los Congresos que organiza SEAE cada dos años, se han presentado diversos trabajos que hacen referencia a la temática que nos ocupa, algunos de ellos son: Molina *et al.* (1998), Sanz (2002), Bobo (2002), Simón *et al.* (2002), Montero *et al.* (1994).

Mecanismos de Kioto o de flexibilidad

Los países que figuran en el Anexo I del Protocolo de Kioto (básicamente países industrializados y en transición) están comprometidos a reducir sus emisiones, para lo cual se plantean tres mecanismos (Mecanismos de Kioto o de flexibilidad, artículos 6, 12 y 17) diseñados para incrementar la costo-efectividad de la mitigación del cambio climático, al crear opciones para que las Partes Anexo I puedan reducir sus emisiones y aumentar sus sumideros de carbono de una manera más económica. Aunque el costo de limitar emisiones o expandir la captura varía mucho entre las regiones, el efecto de la atmósfera es el mismo sin importar donde se lleven a cabo dichas acciones. El principio es que las medidas para la reducción de GEIs (hasta un porcentaje) puedan ser aplicadas fuera del propio país, en países donde sean más económicas.

Los tres mecanismos son:

- Implementación Conjunta (IC):* El artículo 6 señala que todas las Partes Anexo I podrán transferir a cualquier otra Parte incluida en el mismo Anexo, o adquirir de ella, las Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs) resultantes de proyectos encaminados a reducir las emisiones antropogénicas de GEIs por las fuentes o incrementar la absorción antropogénica por los sumideros. Las ERUs podrán ser utilizadas por las Partes que inviertan en dichos proyectos para cumplir sus metas de reducción.

- b. *Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)*: El artículo 12 funciona de manera similar al de IC, se refiere a actividades de mitigación del cambio climático entre los países industrializados o Anexo I y los países en desarrollo o no Anexo I. Este mecanismo permite a los países industrializados comprometidos en reducir las emisiones de GEI efectuar dichas reducciones mediante acciones, a través de proyectos, en los países en desarrollo donde los costos de reducción son inferiores.
- Los objetivos del MDL son: contribuir a la mitigación del cambio climático, ayudar a los países industrializados (Anexo I) en el cumplimiento de sus compromisos de reducción de GEI y contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible de los países en desarrollo (No Anexo I).
- c. *Comercio Internacional de Emisiones (CIE)*: El artículo 17 del Protocolo de Kyoto establece que las Partes del Anexo I podrán participar en actividades de comercio de "Certificados de emisión de gases de efecto invernadero".

Los países del Anejo I pueden aplicar la Implementación Conjunta (IC) dentro de su propio país y en otro país miembro de este grupo de forma conjunta. También pueden adoptar el Comercio de Emisiones (CE) y, finalmente, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) permite a los países de este grupo conseguir las reducciones de emisiones en países no incluidos en el Anexo I y en cooperación con ellos.

Se debe asumir que en el futuro los tres mecanismos de flexibilidad serán aplicables para la agricultura. Por ello, es importante desarrollar metodologías para contabilizar la agricultura para la IC y MDL así como en parte del CIE, anticipándose a la primera fase de compromisos (2008-2012). En este proceso, se deben resolver todavía muchas cuestiones metodológicas. En el caso de la agricultura ecológica el principal asunto es establecer una línea de base, de los impactos adicionales, auxiliares, permanentes, y escapes de las normativas prácticas de la agricultura ecológica. Para ello es fundamental examinar los impactos en casos prácticos.

Conclusiones y recomendaciones

La agricultura ecológica puede contribuir de forma significativa a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y al secuestro de carbono en suelos y biomasa. Sin embargo, no está siendo considerada en las discusiones sobre ésta temática, en los foros que pretenden establecer medidas en este sentido, ni a nivel nacional, ni internacional.

Existe suficiente evidencia de que la agricultura ecológica mejora el perfil de la agricultura convencional más usada en este aspecto. Esto es más importante, que el potencial de la agricultura ecológica de contribuir a la mitigación del cambio climático, que puede ser considerado como un beneficio auxiliar a su principal objetivo del uso

sostenible del terreno. Este objetivo primario se alcanza al mejorar la productividad del suelo, con la consecuente seguridad alimentaria, conservación de la biodiversidad y muchos otros beneficios.

En contraposición a la orientación de la agricultura de conservación, basada en una sola tecnología, la agricultura ecológica aporta un enfoque sistémico específico del lugar, que abarca un juego armonizado de tecnologías integradas.

Muchas de las medidas mencionadas arriba, pueden encuadrarse dentro de las prácticas de manejo recomendadas que podrían ser usadas por cualquier tipo de agricultura, pero la agricultura ecológica es la única que ofrece una estrategia que integra sistemáticamente todas ellas en un sistema de producción. Esta estrategia se completa con normativas obligatorias que tienen mayor impacto en la protección del clima que también incluye un buen sistema en funcionamiento de inspección y certificación que garantiza su cumplimiento de los principios y normativas de la agricultura ecológica, que lo hace más controlable y generador de innovaciones. Por ese mismo motivo, el seguimiento y evaluación del secuestro de carbono se simplifica y es más efectivo en relación a los costos, si se compara con las prácticas de la agricultura convencional.

Las políticas medioambientales deberían reconocer el potencial de la agricultura ecológica para reducir la emisión de gases invernadero y desarrollar programas apropiados para utilizar dicho potencial. Semejantes programas deben concentrarse en el potencial de reducción de emisión, en el potencial de secuestro, en las posibilidades de la generación de biomasa en agricultura ecológica o en combinaciones de todos estos aspectos.

Tomar en cuenta este aspecto y desarrollar metodologías para contabilizar el aporte de la agricultura ecológica, es una tarea en la que el sector de la agricultura ecológica debería colaborar activamente.

Abreviaturas

AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente, CIE: Comercio Internacional de Emisiones, ERUs: Unidades de Reducción de Emisiones, FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations / Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, GEI's: Gases de Efecto Invernadero, Gt: Gigatonelada, HCFs: Hidrofluorocarbonos, IC: Implementación Conjunta, IFOAM: Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica, IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático / Panel Intergubernamental de Cambio Climático, MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio, MMA: Ministerio de Medio Ambiente, Mt: Megatonelada, OECC: Oficina Española de Cambio climático, PBP: Producción Bruta Primaria, PCT: Potencial de Calentamiento de la Tierra, PECC: Programa Europeo sobre Cambio Climático / ECCP: European Climate Change Programme, PFCs: Perfluorocarbonos, PNB: Producción Neta de la Biosfera, PNE: Producción Neta de Ecosistema,

PNP: Producción Neta Primaria, UE: Unión Europea / EU: European Union, UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático / United Nations Framework Convention on Climate Change, UTCUTS: Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Silvicultura, WBGU: Consejo Científico del Gobierno Federal para el Cambio Climático / Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

Referencias

- Ahlgrimm HJ, Gaedeken D. 1990. Methane (CH₄). In *Klima- veränderungen und Landbewirtschaftung, Land- bauforschung Völknerode* (Sauerbeck D, Brunner H, eds.). 117, S, pp.28-46.
- Bachinger J. 1996. Der Einfluß unterschiedlicher Düngungs- arten (mineralisch, organisch, biologisch-dyna- misch) auf die zeitliche Dynamik und die räumliche Verteilung von bodenchemischen und -mikrobiolo- gischen Parametern der C- und N-Dynamik sowie auf das Pflanzen- und Wurzelwachstum von Win- terroggen. PhD-thesis University of Giessen. Schrif- tenreihe Bd. 7, Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt.
- Bates J. 2001. Economic Evaluation of Emission Reductions of Nitrous Oxides and Methane in Agriculture in the EU. Contribution to a Study for DG Environment, Eu- ropean Commission by Ecosys Energy and Environ- ment, AEA Technology Environment and National Technical University of Athens.
- Berg W. 1997. Minderung von Emissionen aus der Tierhal- tung. Kosten und Potentiale. *Landtechnik* 5/97: 262- 263.
- Bobo S. 2002. Evaluación de sustentabilidad de la explot- ación horticola convencional y ecológica. Estudio de casos en Asturias. *Actas del V Congreso de SEAE. Asturias*, pp.331-340.
- Bockish JM. 2000. Bewertung von Verfahren der ökologi- schen und konventionellen landwirtschaftlichen Produk- tion im Hinblick auf Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Sonderheft 211. *Landbauforschung Völ- kenrode. FAL Braunschweig*.
- Bouwman AF. 1990. Analysis of Global Nitrous Oxide Emis- sions from terrestrial Natural and Agroecosystems. *Transactions 14th International Congress Soil Sci- ence, Kioto, Japón*.
- Cole CV, Duxbury J, Freney J, Heinemeyer O, Minami K, Mosi- er A, Paustian K, Rosenberg N, Sampson N, Sauerbeck D, Zhao Q. 1997. Global estimates of potential miti- gation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 221-228.
- Coleman K, Jenkinson DS, Crocker GJ, Grace PR, Klir J, Kör- schens M, Poulton PR, Richter DD. 1997. Simulating Trends in Soil Organic Carbon in Long-Term Experi- ments Using RothC-26.3. *Geoderma* 81: 29-44.
- Cormack B, Metcalfe P. 2000. Energy Use in Organic Farming Systems. ADAS. Tarrington. Reino Unido.
- De Sherbinin A. 2002. A CIESIN Thematic guide to Land Land-Use and Land Land-Cover change (LUCC). Center for International Earth Science Information Network (CIESIN). Columbia University Palisades, NY, USA.
- ECCP Working Group 7 – Agriculture. 2001. Mitigation po- tential of Greenhouse Gases in the Agricultural Sec- tor. Programa Europeo sobre el Cambio Climático (ECCP).
- ECCP. 2004a. Working Group Sinks Related to Agricultural Soils. Final Report. Programa Europeo sobre el Cam- bio Climático (ECCP).
- ECCP. 2004b. Working Group Sinks Related to Agricultural Soils. Executive Summary. Programa Europeo sobre el Cambio Climático (ECCP).
- FAO. 2002. Organic Agriculture, environment and food se- curity. *World agriculture: towards 2015/2030*.
- Fließbach A, Mäder P. 1997. Carbon Source Utilization by Microbial Communities in Soils under Organic and Conventional Farming Practice. In *Microbial Com- munities – Functional versus Structural Approaches* (Insam H, Rangger A, eds.). Berlin, pp. 109-120.
- Gehlen P. 1987. Bodenchemische, bodenbiologische und bodenphysikalische Untersuchungen konven- tionelle und biologisch bewirtschafteter Acker-, Gemüse-, und Weinbauflächen. Dissertation. Univ. Bonn. Alemania.
- Haas G, Köpke U. 1994. Vergleich der Klimarelevanz ökolo- gischer und konventioneller Landbewirtschaftung. In *Enquete Kommission Schutz der Erdatmosphäre des Deutschen Bundestages* (ed): Schutz der Grün- en Erde, Klimaschutz durch umweltgerechte Land- wirtschaft und Erhalt der Wälder. Bonn, Economica Verlag.
- Heenan DP, Chan KY, Knight PG. 2004. Long-Term Impact of Rotation, Tillage and stbble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. *Soil and Tillage Research* 76 (1): 59-68.
- Houghton RA, Callander BA, Varney SK. 1992. Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assesment. Cambridge, Reino Unido.
- Hütsch B. 2001. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production. — invited paper. *European Journal of Agronomy* 14(4): 237-260.
- IPCC. 2000. Land Use, Land Use Change and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). En <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>
- IPCC. 2001. Cambio Climático 2001: La Base Científica (Re- sumen Técnico). Aportación del Grupo de Trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergu- bernamental de expertos sobre el Cambio Climáti- co. En <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>
- Jarvis SC, Pain BF. 1994. Gaseous emissions from an inten- sive dairy farming system. *Proceedings of the IPCC AFOS Workshop*. 55-59. Canberra, Australia.
- Käterer T, Andren O. 1999. Long-Term Agricultural Field

- Experiments in Northern Europe: Analysis of the Influence of Management on Soil Carbon Stocks Using the ICBM model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 72: 165-179.
- Kotschi J, Müller-Säman K. 2004. The Role of Organic Agriculture in Mitigating Climate Change – A Scoping Study. IFOAM. Bonn.
- Langeveld CA, Segers R, Dirks BO, van den Po Dasselaar A, Velthof GL, Hensen A. 1997. Emissions of CO₂ and CH₄ and N₂O from Pasture and Drained Peat Soils in The Netherlands. *European Journal of Agronomy*. 7:35-42.
- Leigh RE, Jhonston AE. 1994. Long-Term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences. Wallingford, Reino Unido. CAB International.
- Mäder P, Fliebach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Urs N. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* V. 296: 1694-1697.
- Malhi Y, Meir P, Browns S. 2002. Forests, carbon and global climate. In *Capturing Carbon and Conserving Biodiversity – The market approach* (Swinland IR, ed.). Londres.
- MMA. 2004. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En *Perfil Ambiental de España 2004. Informe Basado en Indicadores*. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 42-43.
- MMA. 2003. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990-2002. Comunicación a la Comisión Europea (Decisión 1999/293/CE). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Molina MJ, Soriano MD, Llinares JV. 1998. La degradación de las propiedades del suelo en relación a su uso en dos sistemas agroforestales de la Comunidad Valenciana: Implicaciones ecológicas ante un hipotético cambio climático. *Actas III Congreso SEAE, Valencia*, pp. 191-202.
- Montero FJ, Martín de Santa Olalla F, del Carro A, Rubio M. 1994. La incidencia de la desertificación en Castilla-La Mancha. *Prácticas ecológicas para una agricultura de calidad*. *Actas I Congreso SEAE, Toledo*, pp. 477-488.
- Mosier A, Valentine D, Schimel D, Parton W, Ojima D. 1993. Methane consumption in the Colorado short grass steppe. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 69: 219-226.
- Ojima DS, Valentine DW, Mosier AR, Parton WJ, Schimel DS. 1993. Effect of land use change on methane oxidation in temperate forest and grassland soils. *Chemosphere* 26: 675-685.
- Prather M, Derwent R, Ehhalt D, Fraser P, Sanhueza E, Zhou X. 1995. Other trace gases and atmospheric chemistry. In *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios* (Houghton JT, Meira Filho LG, Bruce J, Lee H, Callander BA, Haites E, Harris N, Maskell K, eds.). Cambridge U.K.-N.York: Cambridge University Press, pp. 73-126.
- Pretty JN. 1995. Regenerating Agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-Reliance. Earthscan. Londres, Reino Unido.
- Pretty JN, Ball A. 2001. Agricultural Influences on Carbon Emissions and Sequestration: A review of Evidence and the Emerging Trading Options. Centre for Environment and Society. Occasional Paper 2001-03. University of Essex, R. Unido.
- Raupp J. 2001. Manure Fertilization for Soil Organic Matter Maintenance and its Effects upon Crops and the Environment, Evaluated in a Long-Term Trial: In *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. (Rees, Ball, Campbell, Watson, eds.). Wallingford, Reino Unido: CAB International, pp. 301-308.
- Sanz M. 2002. La agricultura ecológica como sumideros de CO₂: Sus efectos sobre el cambio climático. *Actas del V Congreso SEAE/ I Congreso Iberoamericano de Agroecología, Asturias: SERIDA/SEAE*, pp. 65-72.
- Schlesinger WH. 1999. Carbon Sequestration in Soils. *Science* 284: 2095.
- Schröder P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27: 89-97.
- Simón X, Domínguez MD, Alonso AM, Guzmán GI. 2002. Beneficios derivados de la agricultura ecológica. *Actas del V Congreso SEAE/ I Congreso Iberoamericano de Agroecología, Asturias: SERIDA/SEAE*, pp. 321-330.
- Smith WN, Desjardins RL, Patten E. 2000: The Net Flux of Carbon from Agricultural Soils in Canada 1970-2010. *Global Change Biology* 6: 557-568.
- Steffen W, Noble I, Canadell J, Apps M, Schulze ED, Jarvis PG, Baldocchi D, Ciais P, Cramer W, Ehleringer J, Farquhar G, Field CB, Ghazi A, Gifford, Heimann M, Houghton R, Kabat P, Körner C, Lambin E, Linder S, Mooney HA, Murdiyarso D, Post WM, Prentice C, Raupach MR, Schimel DS, Shvidenko A, Valentini. 1998. The Terrestrial Carbon Cycle: Implications For The Kyoto Protocol. *Science* 280: 1393-1394.
- UNFCC. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- UNFCC. 2001a. Acuerdos de Bonn. 6ª Conferencia de las Partes (COP6bis)
- UNFCC. 2001b. Acuerdos de Marrakesh. 7ª Conferencia de las Partes (COP7)
- Vleeshouwers LM, Verhagen A. 2002. Carbon Emission and Sequestration by Agricultural Land Use: A Model Study for Europe. *Global Change Biology* 8: 519.
- WBGU. 1998. The Accounting of Biological Sinks and Sources Under Kyoto Protocol: A Step Forwards or Backwards for Global Environmental Protection?. German Advisory Council on Global Change (WBGU).
- Zeddies J. 2002. Vermeidungspotenziale der Landwirtschaft: Ziele und Handlungsoptionen. In: *Tagungsband zur 34. Hohenheimer Umwelttagung Globale Klimaerwärmung und Ernährungssicherung*, 25. Januar 2002, Hrsg. R. Böcker, Verlag Günther Heimbach.

VARIETADES LOCALES DE JUDÍAS DE LA REGIÓN DE MURCIA COMO BASE PARA LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA. EL CAUPÍ (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP.)

JM Egea-Sánchez, Pilar Martínez, JM Egea-Fernández

Dpto. de Biología Vegetal (Botánica), Facultad de Biología, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo, 30100 Murcia.

E-mail jmegea@um.es

Resumen

Se analiza la variabilidad del caupí o judía de vaca en la Región de Murcia, bajo condiciones de cultivo ecológico. Las 14 entradas estudiadas se reúnen en 6 cultivariedades bien diferenciadas, de las cuales 4 (bisuelo, habichuela, chicharro negro y judía culebra) están relacionadas con el grupo *sesquipedalis* y dos (caricas del señor y cerigüelos) con el grupo *unguiculata*. Se incluye una descripción detallada de la especie. Finalmente, se destaca la importancia que puede tener el cultivo de estas cultivariedades, en peligro de extinción, en sistemas de producción ecológica.

Palabras clave: Recursos fitogenéticos, conservación, Agroecología, leguminosas, judía de vaca.

Summary

Local varieties of bean from Murcia Region as basis to organic production. The Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp).

Cowpea or "judía de vaca" variability in the Murcia Region is studied under organic conditions. Fourteen accessions studied are grouped in six well-defined cultivariedades, from which four (bisuelo, habichuela, chicharro negro, judía culebra) are related with the *sesquipedalis* group, while two (caricas del señor y cerigüelos) with the *unguiculata* group. A detailed description of the species is included. Finally, the importance of these cultivariedades in organic production is discussed in the context of their endangered survival.

KeyWords: Plant genetic resources, conservation, Agroecology, legumes, beans.

Introducción

En la Región de Murcia persiste una gran cantidad de tipos varietales de judías, (tanto de *Phaseolus*, como de *Vigna*), con interesantes características relacionadas con la nutrición y la regeneración del terreno, junto a un alto valor cultural. Una prueba de la variabilidad genética que aún atesora nuestra región, lo constituye las 90 entradas de judías recuperadas durante el pasado verano/otoño. Esta diversidad de material representa un elevado potencial de germoplasma que desaparecerá en unas décadas, si antes no ponemos remedio. Para hacernos una idea de su importancia valga decir que, en el Banco de Germoplasma del Centro de Recursos Fitogenéticos (Alcalá de Henares), de las 4.000 entradas de judías que posee (la colección española más importante en cuanto al número de muestras) sólo 9 proceden de nuestra región.

Hay que tener en cuenta, además, que la superficie destinada al cultivo de judías ha descendido de forma con-

siderable en las últimas décadas (Casquero *et al.* 2000). Ante esta situación, urge no sólo conservar el material recolectado de judías, sino también hacer una selección y mejora de las variedades locales más productivas para que vuelvan a la cadena alimentaria. La supervivencia de este material pasa necesariamente por encontrar cauces adecuados para su producción y comercialización.

Nuestro estudio surge con esta doble finalidad, por un lado recuperar y caracterizar unas variedades que se encuentran en grave peligro de extinción y, por otro, buscar un material vegetal de calidad, adecuado al sistema de producción ecológica. En este primer artículo presentamos los resultados obtenidos sobre la caracterización varietal del caupí o judía de vaca (*Vigna unguiculata* ssp. *unguiculata*). Los objetivos perseguidos se pueden sintetizar en: a). Recopilar información básica sobre el caupí, b). Caracterizar las variedades de caupí procedentes de la Región de Murcia, d). Observar el comportamiento del material cultivado de acuerdo con las técnicas de producción ecológica, c). Reunir informa-

Tabla 1. Material estudiado

Número de registro	Variedad	Procedencia
MUB-Vi 1	Bisuelo	Huerta Puerta Ginesa-Bullas (Murcia)
MUB-Vi 2	Carica del señor	Finca "El Peralejo"-Calasparra (Murcia)
MUB-Vi 3	Cerigüelo	Finca "El Peralejo"-Calasparra (Murcia)
MUB-Vi 4	Bisuelo	Bullas (Murcia)
MUB-Vi 5	Caricas del señor	Socovos (Albacete)
MUB-Vi 6	Habichuela	Cazalla-Lorca (Murcia)
BGE027106	Habichuela	Zaradilla de Totana- Lorca (Murcia)
BGE027106'	Chicharro negro	Zaradilla de Totana- Lorca (Murcia)
BGE027107	Bisuelo	Torrealta-Molina de Segura (Murcia)
BGE027108	Habichuela	Cagitan, Casa del Pino-Mula (Murcia)
BGE027108'	Chicharro negro	Cagitan, Casa del Pino-Mula (Murcia)
BGE027109	Habichuela	Tiata-Lorca (Murcia)
BGE027110	Chicharro	Alhama de Murcia (Murcia)
BGE027111	Judía culebra	Alhama de Murcia (Murcia)

ción para un estudio posterior de selección y mejora de judías de la Región de Murcia.

Material y Método

Material

Se han estudiado 14 entradas de *Vigna* (tabla 1). De estas, 8 proceden del Banco de Germoplasma del Centro de Recursos Fitogenéticos (INIACFR), de Alcalá de Henares, y el resto han sido recolectadas por los autores entre el verano de 2004 e invierno de 2005, en la Región de Murcia. Una muestra de las semillas obtenidas en cultivo del material estudiado se ha depositado en el Banco de Germoplasma del Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), en el del INIACFR y en la Universidad de Murcia.

Método

Semillero. Las semillas se sembraron en semilleros de tipo alveolar (8 x 12 alvéolos), en los invernaderos del Campo de Experiencias Agrarias de la Universidad de Murcia, el 20 de abril de 2005.

El substrato utilizado ha sido una mezcla de turba, abono orgánico de oveja y vermiculita en la proporción 1-1-1/2 respectivamente. Las semillas no fueron tratadas con fungicidas. Los semilleros permanecieron bajo ambiente controlado y riego periódico por aspersión para mantener la humedad óptima del sustrato.

Antes de trasplantar el material en el campo, el plantel se situó bajo un umbráculo, para aclimatarlo a las condiciones externas al invernadero. Los semilleros permanecieron de esta forma durante 16 días.

Labores culturales. La parcela destinada al ensayo se preparó mediante una labor de arado. La tierra se rastrelló para nivelar el terreno. Posteriormente, se suministró un compost orgánico de oveja (2,5 kg/m²) en la superficie y

se instaló el riego por goteo, una manguera para cada fila. Para las plantas de crecimiento indeterminado, como soporte físico, se clavó un tutor de bambú, de 250 x 1,6 cm.

Transplante. El transplante se realizó el 6 de mayo de 2005, en una parcela experimental del Servicio de Experimentación Agrícola y Forestal (SEAF) de la Universidad de Murcia. La parcela está situada a 1° 09' de longitud oeste y 38° 01' de latitud norte y a 90,3 msm. Se trasplantaron un total de 56 cepellones. A continuación, se dio un riego copioso para facilitar su enraizamiento.

Marco de plantación. El diseño experimental empleado es el denominado "hill plot" (Rodiño 2000, Shalch & De la Rosa 2001). Se trata de un diseño completamente al azar, en el que cada unidad experimental es una parcela en la que se siembran cuatro golpes con dos semillas por golpe. El marco de plantación utilizado fue de 80 x 33 cm, dejando un metro entre parcela y parcela (Fig. 1A).

Otras labores. Las plantas se regaron tres días a la semana, durante unos 60 minutos, excepto los días de más calor que se aumentó el riego a unos 90 minutos. Las escardas fueron manuales. No se aplicó fertilizante de síntesis, ni biocidas, ni productos autorizados por la Agricultura Ecológica.

Caracterización varietal: Está basada en los descriptores de judías del IBPGR (1982) y del proyecto *Phaselieu* (De la Cuadra *et al.* 2001).

Resultados

El caupí o judía de vaca (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)

Descripción: Plantas herbáceas con porte rastroso o trepador; tallos volubles, cilíndricos o fuertemente angulosos y sin pelos uncinados. Hojas del segundo par de nudos simples, opuestas y acorazonadas, el resto alter-

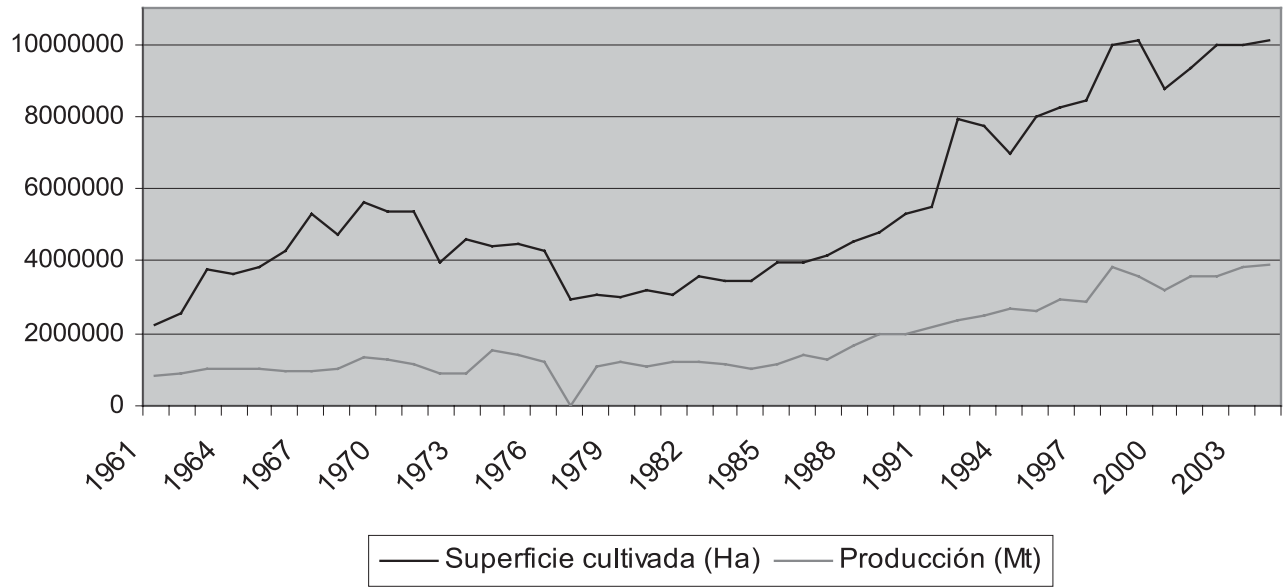


Figura 1. A) Marco de plantación. B) Legumbres. Nótese su posición en el extremo de largos pedúnculos. C) Ápice de las legumbres. D) Flor de judía común. Nótese la quilla enrollada. E) Flor de caupí. Nótese la flor completamente simétrica, con la quilla recta. F) Vaiabilidad de semillas de caupí. G) Tallo de judía común, con pelos uncinados. H) Tallo de caupí, glabro. I) Evolución de la superficie y producción del caupí en el mundo (1961-2004). Fuente: elaboración propia con datos de FAO.

nas, trifoliadas y lanceoladas; estípulas de triangulares a lanceoladas, truncadas en la base, prolongadas debajo del punto de inserción con dos aurículas largas; pecíolos generalmente más largos que el foliolo terminal; foliolos de redondeados a truncados en la base, el terminal ligeramente más largo que los laterales, glabros.

Inflorescencias constituidas por un eje más largo que los pecíolos de las hojas, en cuyo ápice (subumbelada) se desarrollan de 2 a 4 ó 6 flores secuencialmente; brácteas lanceoladas, caducas; pedicelos a menudo más largos que el caliz. Flores grandes, de 2 cm de longitud, blancas o lilas. Cáliz tubular, campanulado. Corola blanca o lila; estandarte más ancho que largo, con dos apéndices en la base; alas en parte enrolladas y plegadas, auriculadas en la base; quilla con los pétalos rectos. Estambres diadelfos. Ovario con estilo largo, engrosado en la porción distal, que se extiende por encima del estigma formando un gancho.

Vainas (legumbres) cilíndricas, generalmente largas, estrechas, colgantes, con las semillas marcadas, terminadas en un pico con el ápice romo (Fig. 1B-C). Semillas ovoidales o redondeadas, medianas o pequeñas, de color variable (marfil, crema, rojo ladrillo, marrón o negro mate), con una mancha oscura alrededor del hilo (Fig. 1F).

Observaciones: Plantas, en general, muy sensibles al fotoperiodo, clasificándose como planta de día corto, si bien, su sensibilidad a la duración del día se modifica en algunos genotipos por la temperatura (Ehlers & Hall 1996). La combinación de altas temperaturas y días largos pueden reducir o inhibir la formación de botones florales. Además, temperaturas nocturnas superiores a los 20° C durante el periodo de floración producen una reducción en la formación de vainas y una pérdida en el rendimiento (Nielsen & Hall 1985).

Aprovechamientos y usos: La especie presenta múltiples usos; el más extendido es como grano para alimentación humana: Sus semillas tienen un alto contenido en proteínas, del 22 al 27 % del peso seco total. Las hojas tanto frescas como secas se consumen en África. Según Harvar-Duclos (1969) la especie es un excelente forraje para el ganado, que resiste la sequía y toma aspecto de matorral durante la estación seca. Su forma de crecimiento (cubriendo todo el terreno) y sus raíces numerosas que descienden hasta 0,9 metros, hacen que sea utilizada para combatir la erosión. Se

utiliza a veces como planta mejorante de suelos para abonado en verde y cubierta vegetal.

La variedad *textilis* se usa, en países africanos, como fuente de fibra, al parecer muy fuerte y duradera; y para producir papel (Beyra & Artiles 2004). Con las hojas y semillas, en Senegal, se confeccionan cataplasmas contra las dermatitis e inflamaciones de la piel.

Taxonomía: El género *Vigna* comprende unas 150 especies, muy heterogéneas y poco relacionadas, por lo que la taxonomía del género dista mucho de estar resuelta (Delgado Salinas & Torres-Colín 2001, Beyra & Reyes Artiles 2004). Contiene varias especies de importancia económica en países en vías de desarrollo. En España, *Vigna unguiculata* es la única especie cultivada. Se trata de un taxon extremadamente polimórfico, particularmente en lo que respecta al tamaño del fruto (Beyra & Reyes Artiles 2004). En la tabla 2 se sintetizan las principales diferencias entre esta especie y la judía común (*Phaseolus vulgaris*).

En *Vigna unguiculata* se reconocen dos subespecies: a) *ssp. unguiculata* que comprende cuatro grupos de importancia económica: *unguiculata*, cultivada como leguminosa grano; *biflora* (catjang) cultivada para forraje; *sesquipedalis* (la judía espárrago o culebra) usada como verdura; y *textilis*, usada para la obtención de fibra, extrayéndola de sus largos pedúnculos (en algunos casos llegan a 1 m. de longitud); b) *spp. dekindtiana*, que engloba a todos los tipos silvestres.

En la Región de Murcia se han detectado variedades locales relacionadas con el grupo *unguiculata* y con el grupo *sesquipedalis*. El primer grupo se caracteriza por sus legumbres menores de 20 cm. de longitud y por sus semillas redondeadas, de color marfil o crema. En el grupo *sesquipedalis*, las legumbres son más largas, de hasta 85 cm. y las semillas son más planas, de color rojo ladrillo o negras.

Origen y domesticación: El oeste de África es el principal centro de diversidad de la especie (Ng & Paludos 1988). En India se encuentra un segundo centro de diversidad (grupos *biflora* y *sesquipedalis*) donde parece que fue introducido probablemente durante el primer milenio a. C. (Pant *et al.* 1982). En Europa, el caupí era conocido ya por los romanos (Ng & Marechal 1985). En América fue introducido en los siglos XVI y XVII por españoles y portugueses.

Tabla 2. Diferencias entre la judía común (*Phaseolus vulgaris*) y el caupí (*Vigna unguiculata*).

	Judía común	Caupí
Tallo (Fig. 1G-H)	Redondeado Tricomas uncinados	Poligonal Glabro
Estípulas	Pequeñas, triangulares No prolongadas debajo del punto de inserción	Grandes, truncadas Prolongadas debajo del punto de inserción
Inflorescencias	Racemosa	Subumbelada (sobre largos pedúnculos)
Quilla (Fig. 1D-E)	Enrollada en espiral	Recta
Longitud legumbre	6-25 cm	16-85 cm

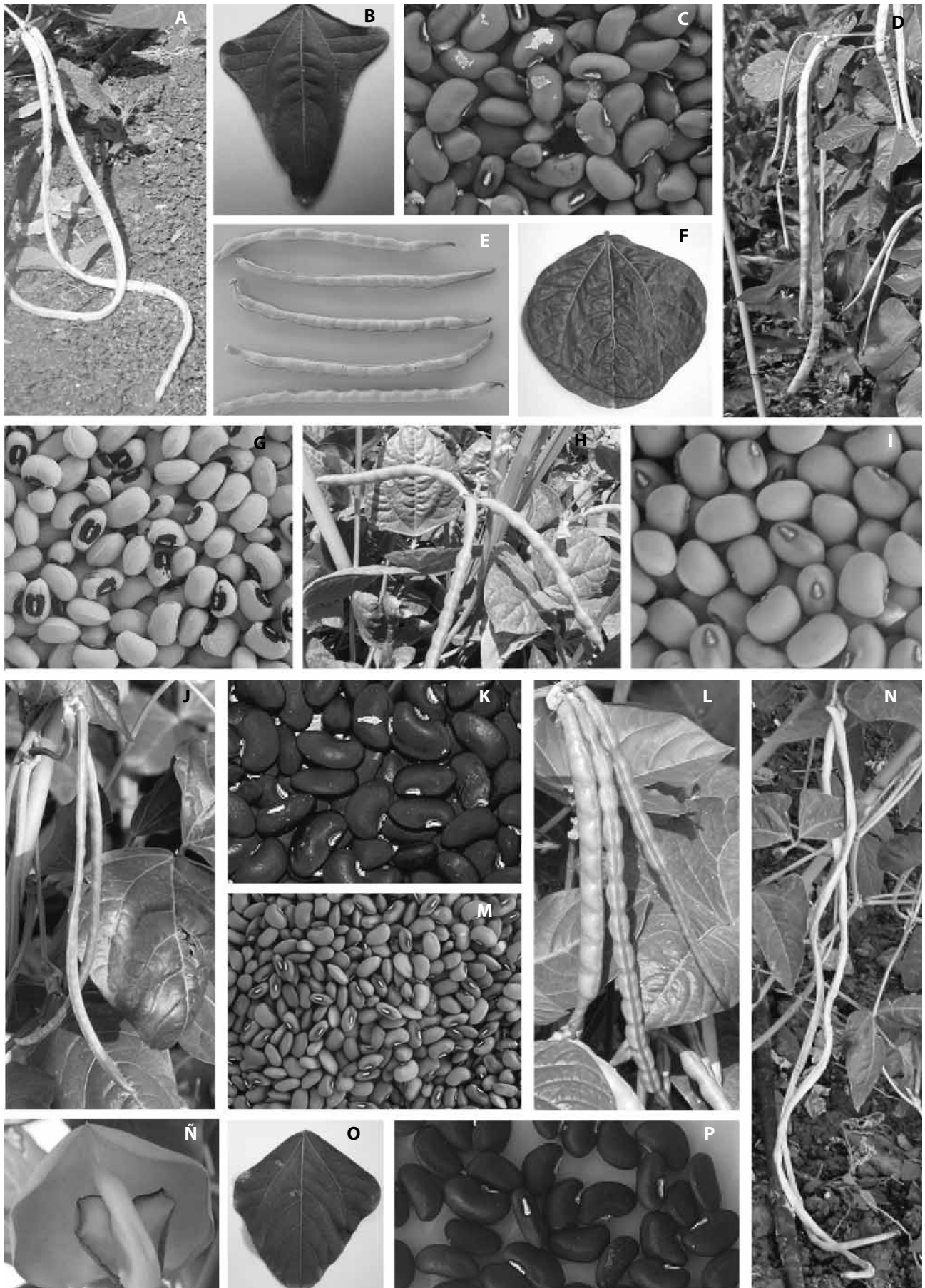


Figura 2. Cultivares del caupí en la Región de Murcia. A-C) Bisuelo. D-G) Carica del señor. H-I) Cerigüelo. J-K) Chicharro negro. L-M) Habichuela. N-P) Judía culebra.

Distribución: El caupí es una especie de climas tropicales y subtropicales, adaptada a soportar altas temperaturas en zonas secas con buena producción de biomasa (Segel 1990, Skerman 1991). Se cultiva ampliamente en todo el mundo, sobre todo en África tropical, India y Estados Unidos.

Datos agronómicos: De acuerdo con los datos extraídos de Nadal *et al.* (2005), el caupí se cultiva tanto en sistema de monocultivo como en cultivo mixto. Prefiere suelos con buen drenaje, pero crece en suelos desde arenosos a arcillosos. Su cultivo se desarrolla bien a pH comprendidos entre 5,5 y 7. En los sistemas de cultivo convencional, se fertiliza con un abonado de fondo de 112 kg/ha de 0-14-14 (N-P-K). Es común la aplicación de cal con el objetivo de aumentar el pH en zonas de pH muy ácido, gran limitante de la producción.

La cantidad de semilla a utilizar en la siembra varía de 10 a 20 kg/ha, con una profundidad recomendada de entre 2,5 y 4 cm. Para su uso como forrajera o como enriquecedora del suelo, se puede llegar a emplear entre 112 y 135 kg/ha de semilla. Su siembra se tiene que realizar en primavera, cuando el terreno muestra una temperatura superior a 18° C. Los materiales de porte postrado precisan de tutores para su cultivo.

La floración, en cultivares de caupí de crecimiento indeterminado, se va produciendo por pisos, alternándose con la producción de vainas, lo cual dificulta la mecanización del cultivo. En materiales de crecimiento determinado, la floración acontece en los últimos nudos de la planta, cesando el crecimiento vegetativo de ésta, concentrando así la floración en tiempo y espacio.

La cosecha de grano seco se realiza a los 120-150 días (de 80-90, según nuestros datos) después de la fecha de la siembra. Se tiene que almacenar en lugares frescos y secos con una temperatura superior a 7° C, ya que temperaturas inferiores producen daños de helada en la semilla.

Una descripción detallada de las plagas y enfermedades del caupí se encuentra en Messiaen (1975).

Importancia y producción: La mayor superficie dedicada al cultivo del caupí se encuentra en África (98 % de la superficie total). En gran parte, se siembra en sistema de cultivo mixto junto a sorgo, mijo, maíz, mandioca o algodón (Blade *et al.* 1997).

El cultivo y la producción de esta leguminosa ha aumentado, a nivel mundial, desde 1979 hasta la actualidad (Fig. 11). En el año 2004, se produjeron 3,930.550 Mt de caupí seco, de los cuales 3,721.835 Mt lo fueron en África.

En España, el cultivo del caupí fue sustituido muy pronto por el de la judía común, procedente del Nuevo Mundo. Hoy se cultiva sólo para autoconsumo y en zonas muy reducidas, por lo que no existe constancia estadística de su producción y mucho menos de su evolución.

Descripción variedades locales

Las 14 entradas estudiadas, de acuerdo con el análisis

morfológico realizado, corresponden a 6 cultivares bien diferenciados entre sí. A continuación se describen estos cultivares. Para cada uno de ellos se indica: nombre local, descripción, datos fenológicos, rendimiento, observaciones y material estudiado. Para los cultivares que carecemos de nombre local, se les ha asignado un nombre de forma provisional.

Bisuelo (Fig. 2A-C)

Descripción: Plantas de crecimiento indeterminado. Foliolos lanceolados, ovalados y acorazonados (long/anch = 1,6), largos, de 103,7 x 67,5 mm, con nerviación primaria muy marcada, glabros. Flores lilas. Vainas inmaduras verdes, con el ápice oscuro, de 16,8 gr, rectas a ligeramente curvadas (long/cuerda = 1,3), de 494,4 x 7,9 x 10,3 mm (long/anch = 64,6, anch/gros = 0,8), sección elíptica. Presencia de hebras media (2-3). Número de vainas/planta: 30,3. Número de semillas/vaina: 19,4. Semillas gris parduzcas a verdosas, pequeñas, de 0,14 gr, arriñonadas, cortas, de 9,6 x 5,4 x 4,1 mm (long/anch = 1,8; anch/gros = 1,3), truncadas en uno de los extremos.

Datos fenológicos: Floración: 63 días. Primera cosecha: 73 días. Última cosecha: 89 días.

Rendimiento:

Vainas: 16,8 x 30,3 = 509,04 gr/planta

Semillas: 0,14 x 19,4 x 30,3 = 82,29 gr/planta

Observaciones: Las vainas pueden llegar a medir unos 60 cm de longitud. Se consumen en verde cuando son muy jóvenes.

Material estudiado: Bullas, Huerta Puerta Ginesa (Blas), 11/04, Egea-67 (MUB-Vi 1); Bullas, (El "Tío Panizo"), 12/04, Egea-204 (MUB Vi 4); Torrealta (Molina), (BGE027107).

Caricas del señor (Fig. 2D-G)

Descripción: Plantas de crecimiento indeterminado. Foliolos ovalados (long/anch = 1,0), glabras, largas, de 90,8 x 88,0 mm, verde oscuros y con nervios muy marcados. Flores blancas. Vainas inmaduras verde oscuras, con el ápice morado, de 8,2 gr, rectas a ligeramente curvadas (long/cuerda = 1,1), de 169,0 x 8,0 x 6,3 mm (long/anch = 19,8; anch/gros = 1,3), sección elíptica. Presencia de hebras media (2-3). Número de vainas/planta: 59,3. Número de semillas/vaina: 12,2. Semillas de color crema, grandes, de 0,25 gr, ovales, de 11,1 x 7,0 x 6,2 mm (long/anch = 1,6; anch/gros = 1,1).

Datos fenológicos: Floración: 57 días. Primera cosecha: 69 días. Última cosecha: 78 días.

Rendimiento:

Vainas: 8,2 x 59,3 = 486,26 gr/planta.

Semillas: 0,25 x 12,2 x 59,3 = 180,86 gr/planta.

Observaciones: Las vainas pueden llegar a medir unos 18 cm de longitud. Se consume tanto en fresco, cuando son jóvenes, como en grano.

Material estudiado: Calasparra, Finca el Peralejo (Antonio y Manolo Ruiz), 10/04, Egea-68 (MUB-Vi 2); Socovos (Albacete), 12/4, Egea-336 (MUB-Vi 5).

Cerigüelo (Fig. 2H-I)

Descripción: Plantas de crecimiento indeterminado. Foliolos acorazonado-ovalados (long/anch = 1,2), largos, de 100,0 x 85,4 mm, verde oscuros, con nerviación primaria muy marcada, glabros. Flores lilas. Vainas inmaduras verde oscuras, de 6,4 gr, rectas a curvadas (long/cuerda = 1,1), de 167,2 x 7,0 x 10,0 mm (long/anch = 23,9; anch/gros = 0,7), sección redondeada. Presencia de hebras media (3). Número de vainas/planta: 104,6. Número de semillas/vaina: 13,4. Semillas crema, medianas, de 0,17 gr, redondeada-ovales, de 8,3 x 6,5 x 5,4 mm (long/anch = 1,3; anch/gros = 1,2).

Datos fenológicos: Floración: 62 días. Primera cosecha: 72 días. Última cosecha: 78 días.

Rendimiento:

Vainas: 6,4 x 104,6 = 669,44 gr/planta

Semillas: 0,17 x 13,4 x 104,6 = 238,28 gr/planta

Observaciones: Las vainas pueden llegar a medir unos 20 cm de longitud. Se pueden consumir en fresco cuando son muy jóvenes, pero su uso habitual es para grano. La planta presenta un hábito rastrero, antes de trepar por el tutor.

Material estudiado: Calasparra, Finca el Peralejo (Antonio y Manolo Ruiz), 10/04, Egea-69 (MUB-Vi 3).

Chicharro negro (Fig. 2J-K)

Descripción: Plantas de crecimiento indeterminado. Foliolos romboédricos (long/anch = 1,4), glabras, medianas-largas, de 106,3 x 81,5 mm. Flores lilas. Vainas inmaduras verdes, con el ápice oscuro, de 19,4 gr, recta (long/cuerda = 1,0), de 439,3 x 7,2 x 11,7 mm. (long/anch = 63,2; anch/gros = 0,7), sección piriforme. Presencia de hebras media (3). Número de vainas/planta: 19,9. Número de semillas/vaina: 17,7. Semillas negras, medianas, de 0,19 gr, arriñonadas, cortas, de 10,9 x 6,4 x 4,4 mm. (long/anch = 1,7; anch/gros = 1,5), truncadas en uno de los extremos.

Datos fenológicos: Floración: 68 días. Primera cosecha: 78 días. Última cosecha: 88 días.

Rendimiento:

Vainas: 19,4 x 19,9 = 386,1 gr/planta

Semillas: 0,19 x 17,7 x 19,9 = 66,92 gr/planta.

Observaciones: Las vainas pueden llegar a medir unos 70 cm de longitud. Se consume en verde, aunque es menos preferida que las habichuelas.

Material estudiado: Lorca, Zarzadilla de Totana, (BGE027106'); Mula, Cagitán, Casa del Pino (BGE027108').

Habichuela (Fig. 2L-M)

Descripción: Plantas de crecimiento indeterminado. Foliolos ovalado-romboédricos (long/anch = 1,5), glabras, medianas-largas, de 118,6 x 81,0 mm. Flores lilas. Vainas inmaduras verdes, de 12,2 gr, rectas a ligeramente curvadas (long/cuerda = 1,2), de 329,6 x 8,8 x 7,5 mm (long/anch = 34,4; anch/gros = 1,2), sección elíptica, con presencia de hebras media (2-3). Número de vainas/planta: 55,4. Número de semillas/planta: 16,2. Semillas

pardo rosadas, medianas, de 0,19 gr, ovales, de 10,9 x 6,9 x 4,5 mm (long/anch = 1,6; anch/gros = 1,5), truncadas en uno de los extremos.

Datos fenológicos: Floración: 64 días. Primera cosecha: 74 días. Última cosecha: 88 días.

Rendimiento:

Vainas: 12,2 x 55,4 = 675,88 gr/planta

Semillas: 0,19 x 16,2 x 55,4 = 170,52 gr/planta

Observaciones: Conocido también como chicharro y bisuelo. Consumo en verde y como grano.

Material estudiado: Lorca, Zarzadilla de Totana, (BGE027106'); Mula, Cagitán, Casa del Pino, (BGE027108'); Lorca, Tiata, (BGE027109); Alhama de Murcia, (BGE027110); Lorca, Cazalla, Egea-374 (MUB-Vi 6).

Judía culebra (Fig. 2N-P)

Descripción: Plantas de crecimiento indeterminado. Foliolos ovalados (long/anch = 1,3), glabras, largas, de 88,0 x 69,4 mm. Flores lilas. Vainas inmaduras verdes, con el ápice oscuro, de 20,3 gr, rectas (long/cuerda = 1,0), de 631,2 x 7,6 x 10 mm (long/anch = 85,5; anch/gros = 0,8), sección elíptica. Presencia de hebras media (3). Número de vainas/planta: 31,3. Número de semillas/vaina: 16,2. Semillas negras, pequeñas, de 0,14 gr, arriñonadas, cortas, de 9,4 x 5,4 x 4,1 mm. (long/anch = 1,7; anch/gros = 1,3), truncadas en uno de los extremos.

Datos fenológicos: Floración: 57 días. Primera cosecha: 69 días. Última cosecha: 89 días.

Rendimiento:

Vainas: 20,3 x 31,3 = 635,39 gr/planta

Semillas: 0,14 x 16,2 x 31,3 = 70,99 gr/planta

Observaciones: Las vainas pueden llegar a medir unos 85 cm de longitud. Se consumen en verde.

Material estudiado: Alhama de Murcia (BGE027111).

Discusión**Diversidad de las variedades de caupí en la Región de Murcia**

Todas las variedades de caupí de la Región de Murcia presentan crecimiento indeterminado, con tallos y ramas largas y torcidas. Los foliolos son predominantemente ovalados, algunas acorazonadas o más o menos romboédricas, entre 88 y 118,6 mm. de longitud, correspondientes a la judía culebra y a la habichuela, respectivamente. Las flores son lilas, excepto las caricas del señor que son blancas.

Las vainas inmaduras son verdes, largas y colgantes, a veces con una mancha más oscura de color rojizo o morado en el ápice. En relación con el tamaño y el peso de las vainas nos encontramos con dos grupos claramente diferenciados. Uno, relacionado con el grupo *unguiculata*, está constituido por los ceriguelos y las caricas del señor, que se caracteriza por presentar vainas cortas, menores de 20 cm, y una masa inferior a 8,2 gr. El otro, incluido en el grupo *sesquipedalis*, está constituido por el resto de variedades, las cuales presentan vainas largas, mayores de 30 cm, y una masa supe-

rior a 12 gr. El cerigüelo es la variedad que presenta un mayor número de vainas (104,6) y de mayor rendimiento (669,44 gr/planta). El chicharro negro es la variedad con menor número de vainas (19,9) y menos productiva (386,1 gr/planta). La judía culebra presenta también un número bajo de vainas (31,3), pero su rendimiento es bastante elevado (635,39 gr/planta) debido a que es la variedad con mayor masa. Todas son aptas para el consumo en verde cuando son muy jóvenes.

Las semillas poseen un peso comprendido entre 14 y 25 gr/100 semillas y son en gran parte arriñonadas u ovaladas, cortas, con uno de los extremos truncados. El color varía entre el crema y el negro. Los cerigüelos, a pesar de tener una vaina corta, son los que presentan un mayor número de semillas por vaina; esto, unido a que es la de mayor número de vainas por planta, hace que sea la variedad más productiva en grano (238,28 gr/planta). Las cargas del señor también tienen un buen comportamiento en cuanto a producción de grano (180,86 gr/planta), debido a que es la de mayor peso de semillas, junto a una elevada producción de vainas/planta. Las variedades de menor rendimiento de grano son las incluidas en el grupo *sesquipedalis*. Todas son aptas para el consumo en grano; aunque las preferidas son las del grupo *unguiculata*.

La floración, en general, es relativamente tardía, comprendida entre 57 y 67 día. La cosecha para consumo en verde se sitúa entre 68 y 78 días; mientras que para consumo en grano está comprendida entre los 78 y 89 días.

Las dos variedades del grupo *sesquipedalis* con semillas pardo grisáceas o pardo rosadas, reciben indistintamente el nombre de chicharro, bisuelo y habichuelas. Nosotros, de acuerdo con el nombre más frecuente detectado, hemos asignado el nombre de bisuelo, a la de semillas más pequeñas, y el de habichuela para la variedad de semillas más grandes.

Erosión genética y posibilidades de futuro

El caupí se puede encontrar en algunas zonas de España y Portugal asociado a la judía común, en poblaciones mixtas (De Ron *et al.* 2003). En la Región de Murcia, sin embargo, ha desaparecido casi por completo. Los agricultores que aún conservan semillas de caupí lo hacen más como un "elemento curioso", por la longitud del fruto, que por su aprovechamiento. La pérdida de este cultivo, en nuestra opinión, es un error, no sólo por su valor como recurso fitogenético, sino también por su posible interés económico.

En países como Venezuela (Bolívar *et al.* 2004) el frijol bejuco (como se llama al caupí) se consume más que la caraota (judía común) por las siguientes razones:

- Es fácil de preparar y no requiere de la cantidad y variedad de condimentos que exigen otros granos.
- Su cultivo requiere menos cuidados que la caraota y es más resistente a plagas y enfermedades.

- Se adapta a cualquier tipo de clima y suelo.
- Su valor nutritivo, para los productores de la zona es equivalente "a la carne para la fuerza de trabajo".

En la zona sur de Honduras (Flores & Sagastume 1997), el caupí o frijol alacín es parte integral del sistema de producción de granos básicos, como el maíz y el sorgo. Proporciona, además, una fuente continua de alimentos durante todo su ciclo de producción y sirve, en algunos lugares, como una reserva de forraje para la época crítica del verano. Entre las ventajas de este cultivo se citan las siguientes:

- La producción de vainas es precoz (normalmente a los 30 días de la siembra), lo que contribuye a la seguridad alimentaria de la zona. La cosecha de vainas verdes hace que la planta aumente aún más la producción de vainas.
- Los rastrojos sirven como una excelente provisión de forraje para los animales, en una temporada donde normalmente no existe ninguna otra fuente de alimento. Los rendimientos en materia seca pueden llegar desde 2-6 t/ha/año, dependiendo de las precipitaciones y del suelo.
- Se asocia muy bien con maíz y sorgo.
- Crea una cobertura sobre el suelo que ayuda en el control de las malezas, conservación de la humedad y contribuye a la fertilidad del suelo.

En Cuba, ante el déficit de proteínas que padece el país, se han realizado diversos estudios con leguminosas como fuente de proteínas para la alimentación animal. Uno de estos estudios (Castro *et al.* 2001) concluye que la harina de *Vigna unguiculata* (var. INIFAT.93) constituye una alternativa viable biológica y económicamente, ya que su empleo permite sustituir un 20 % de las fuentes proteicas tradicionales de importación en las fórmulas de pienso para cerdos en crecimiento.

De todos estos estudios se desprende que el cultivo del caupí es menos exigente que el de la judía común. Sus granos y forrajes son de elevado valor nutritivo, por lo que constituye una fuente de proteína para la alimentación humana y animal. Además, puede ser utilizado como abono orgánico para contribuir a la fertilidad del suelo y, como se ha comentado anteriormente, soporta temperaturas elevadas en zonas secas, con una buena producción de biomasa.

En nuestro estudio, con temperaturas superiores a 40 °C en julio y agosto (con riego localizado tres días por semana), y con técnicas de producción ecológica, el caupí ha presentado unos rendimientos superiores a la judía común (trabajo en preparación), como mínimo durante la primavera e inicio del verano, y se ha mostrado mucho más resistente al ataque de gorgojo. De acuerdo con estos datos, consideramos que el caupí constituye un elemento singular, a tener en cuenta en sistemas de producción sostenible, como la agricultura ecológica, sobre todo en fincas que combinen la agricultura con la ganadería.

Conclusiones

En la Región de Murcia se han diferenciado claramente seis variedades, de las cuales dos corresponden al grupo *unguiculata* y las otras cuatro al grupo *sesquipedalis*.

De las variedades estudiadas, el chicharro negro y la judía culebra se pueden considerar extintas de las zonas de cultivo, sólo se encuentran en bancos de germoplasma. El resto de variedades se encuentran en grave peligro de extinción, ya que su presencia en los cultivos de la región es anecdótica y ligada a una población muy envejecida.

Para mantener "in situ" estas variedades son necesarios nuevos estudios para conocer el comportamiento agronómico en nuestra región, su calidad nutritiva para la alimentación humana y animal, sus posibilidades como abono orgánico y como cubierta vegetal; así como para resolver otros problemas comunes al resto de judías (rendimiento, toxicidad, mecanización, técnicas de cultivo y de comercialización y marketing). Estos estudios deberían centrarse, de acuerdo con nuestros resultados, en los cerigüelos y caricas del señor, por su buen comportamiento en grano, y en las habichuelas para su consumo en verde y como grano.

Agradecimientos

Al personal del Centro de Recursos Fitogenéticos (INIA) de Alcalá de Henares por el envío de material del Banco de Germoplasma. Nuestro agradecimiento a la Dirección General de Ciencia, Tecnología y Sociedad de la Información de la Región de Murcia y a INTEGRAL, Sociedad para el Desarrollo Rural, por la financiación parcial de este estudio.

Referencias

- Beyra A, Artilles GR. 2004. Revisión taxonómica de los géneros *Phaseolus* y *Vigna* (Leguminosae-Papilionoideae) en Cuba. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 61 (2): 135-154.
- Blade SF, Shetty SVR, Terao T, Singh BB. 1997. Recent developments in cowpea cropping systems research. En *Advances in Cowpea Research*. (Singh BB, Raj M eds).
- Bolivar A, López M, D'Goveia M, Gutiérrez Mulas M. 2004. El conocimiento local y su contribución al trabajo de rescate, conservación y uso de la semillas de *Phaseolus* y *Vigna* en las vegas del Río Orinoco, Estado Guárico, Venezuela. *Plant Genetic Resources Newsletter* 123: 28-34.
- Casquero PA, Valenciano JB, Reinoso B, Boto JA. 2000. Distribución de la superficie de las principales variedades locales de alubia cultivadas en la provincia de León. En *III Seminario de judía de la Península Ibérica*. Asociación Española de leguminosas.
- Castro M, Díaz J, Castañeda J, Baez L, Díaz MF, Ly J, Díaz C, Cabrera J. 2001. Una alternativa nacional y económica como fuente de proteína para cerdos en crecimiento: *Vigna unguiculata* (var. INIFAT 93). XIV Forum de Ciencia y Técnica. Cuba.
- De la Cuadra C, De Ron AM, Shalch R. 2001. Handbook an evaluation of *Phaseolus* germplasm. PHASELIEU-FAIR. Misión Biológica de Galicia.
- De Ron AM, Gonzalez AM, Monteagudo AB, Lema M, Santalla M. 2003. Colección de *Vigna spp.* de la Misión Biológica de Galicia-CSIC. En: *III seminario de judía de la península ibérica*. Ed. Misión biológica de Galicia – CSIC. Galicia.
- Delgado Salinas A, Torres-Colín L. 2001. *Vigna Savi*. en: *Flora de Nicaragua* (Stevens WD *et al*, eds). *Monographs in Systematic Botany of the Missouri Botanical Garden* 85(2): 1069-1074.
- Ehlers JD, Hall AE. 1996. Genotypic classification of cowpea based on responses to heat and photoperiod. *Crop Science* 36: 673-679.
- Faostat. 2004. www.fao.org
- Flores M, Sagastume N. 1997. El uso del frijol alacín (*Vigna*) en la Zona Sur de Honduras. *CIDICCO. Noticias sobre cultivos de cobertura* 10: 1-10.
- Harvar-Duclos B. 1969. Las plantas forrajeras tropicales. Instituto del Libro. La Habana.
- IBPGR. 1982. *Phaseolus vulgaris* descriptors. *Internacional Borrador for Plant Genetic Resources*. Rome. Italy.
- Messiaen C M. 1975. Las hortalizas. Ed. Blume. Mexico.
- Nadal S, Moreno MT, Cubero JI. 2004. Las leguminosas grano en la agricultura moderna. Ed. Mundiprensa. Madrid-Barcelona-Méjico.
- Ng NQ, Maréchal R. 1985. Cowpea taxonomy, origin and germplasm. En *Cowpea Research, Production and utilization* (Singh S R, Rachie K O, eds.). *Jonh Wiley and Sons, Chichester*. pp: 11-12.
- Ng NQ, Paludosi S. 1988. Cowpea gene pool distribution and crop improvement. En *Crop Genetic Resources of Africa*. Vol. II (Ng NQ, Perrino P, Attere F, Zedan H, eds). Vol. II, pp: 161-174.
- Nielsen CL, Hall AE. 1985. Responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) in the field to high night air temperature during flowering: II plant responses. *Field Crops Research* 10: 181-196.
- Pant KC, Chandel KPS, Joshi BS. 1982. Analysis of diversity in Indian Cowpea Genetic Resources. *Sabro K*. 14: 103-111.
- Rodiño AP. 2000. Caracterización morfoagronómica y bioquímica de germoplasma de judía común (*Phaseolus vulgaris* L.) de España. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Segel S. 1990. Tropical forage legumes and grasses. *Duetscher Landwirts-Chaftsverlang*. GDR-1040. Berlin, Germany.
- Shalch R, De la Rosa L. 2001. Characterisation of *Phaseolus* accessions. En *Handbook an evaluation of Phaseolus germplasm*. PHASELIEU-FAIR. Misión Biológica de Galicia (De la Cuadra *et al*. eds), pp 29-43.
- Skerman PI. 1991. Tropical forage legumes. *FAO*. Rome, Italy.

LUGARES DE INTERÉS AGROECOLÓGICO COMO ESPACIO POTENCIAL PARA LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA

JM Egea-Fernández, JM Egea-Sánchez

*Dpto. de Biología Vegetal (Botánica), Facultad de Biología, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo, 30100 Murcia.
E-mail: jmegea@um.es*

Resumen

Los agroecosistemas tradicionales poseen unos valores paisajísticos, ambientales y culturales excepcionales, que han sido a menudo menospreciados por las políticas agrarias y mediambientales, así como por la sociedad en general. En este artículo se expone la situación actual de nuestro rico patrimonio agrario, así como la necesidad de su recuperación y conservación. Finalmente, se presenta algunas estrategias de gestión y uso de la agrobiodiversidad tradicional.

Palabras clave: Agrobiodiversidad, Agroecología, Agricultura ecológica, Paisajes culturales, Conservación.

Summary

Potential of Sites of Agroecological Interest in organic production

Traditional agroecosystems exhibit exceptional landscape, environmental and cultural values, which have been underestimated in agrarian and conservation policies, and in the society as well. Here we describe the current situation with our rich agrarian heritage, and the urgent needs for recovering and conservation. Strategies in the management of traditional agrobiodiversity are also discussed.

KeyWords: Agrobiodiversity, Agroecology, organic production, Cultural Landscape, Conservation.

Introducción

La agricultura, durante décadas, se ha considerado como fuente de numerosos impactos negativos sobre el medio ambiente (Labrador & Guiberteau 1990, López Bellido 1998, Guzmán *et al.* 2000, Egea-Fernández 2003), la salud (Coscollá 1998, Sempere & Riechmann 2000, Olea & Molina 2001) y de tipo socioeconómico (Guzmán *et al.* 2000, Labrador & Sarandón 2001). Este hecho, que es completamente cierto para la agricultura industrializada, no lo es tanto para otros sistemas agrícolas como los tradicionales o los de producción ecológica.

La agricultura tradicional, aún siendo la actividad que históricamente más ha transformado el espacio, ha generado impactos que deben ser considerados como muy positivos. Los campesinos, a lo largo de la historia, han creado paisajes agrarios ejemplares en los que existe un equilibrio entre aprovechamiento y productividad natural. Así, tenemos ejemplos significativos como las laderas aterrazadas de los paisajes levantinos o canarios, que constituyen una obra faraónica para aprovechar las agua pluviales que fluyen por laderas y cañadas; o las huertas tradicionales que configuran unos paisajes reticulados de gran belleza; sin olvidar los majadales, de

alta diversidad, generados por la acción del pastoreo, pisoteo y deyecciones del ganado lanar; o las dehesas, ecosistemas agrosilvopastorales formados a partir del bosque primitivo que, debido a la actividad humana, poseen una gran estabilidad y una autosuficiencia de energía y materiales.

Pero el hombre no sólo ha generado paisajes. Gracias a su actividad, generaciones de campesinos han seleccionado y mejorado una gran diversidad de variedades locales a lo largo de siglos. Esta selección se llevó a cabo de forma intuitiva, de acuerdo con sus preferencias, diversificando la producción en el tiempo y en el espacio, escogiendo los alimentos que consideraban como más nutritivos o de mejores cualidades organolépticas. Estas variedades, perfectamente adaptadas a sus agroecosistemas, constituyen un recurso de incalculable valor para todos los niveles de agricultura (tradicional, convencional, ecológica), al ser portadores de diferentes genes que eventualmente podrían ser de utilidad en la lucha contra plagas y enfermedades, deficiencias de nutrientes, sequía y otras variaciones ambientales (De la Cuadra 2003). Además, continúan evolucionando hacia nuevas combinaciones genéticas, algunas de las cuales pueden resultar eficaces frente

a las inminentes amenazas de cambios ambientales globales.

El conocimiento adquirido por los agricultores sobre la gestión y uso de los recursos naturales y de los agroecosistemas representa, también, otro de los componentes importantes de la agrobiodiversidad. Este patrimonio inmaterial, transmitido de padres a hijos durante miles de años, no se encuentra en los libros de texto y su valor es incalculable. Sin embargo, al igual que los paisajes y los recursos genéticos locales para la alimentación, se encuentran en grave peligro de extinción.

En la Región de Murcia, algunos de los elementos más representativos de este patrimonio quedan reflejados en los policultivos de vegas y valles interiores, en los cultivos de vides ancestrales, en el cultivo del arroz, en la producción de queso o de miel, en el aprovechamiento de salinas interiores, o en la producción y destilación de plantas aromáticas. Algunas de las manifestaciones de la cultura tradicional agraria, muy relevantes en el pasado, aparecen ya sólo de forma testimonial (productos derivados de la seda o del esparto), o han desaparecido por completo (producción de tintes naturales). Todo ello, sin entrar a valorar diferentes oficios en el medio rural (carbonero, ajorraor, ...), desaparecidos en la actualidad sin dejar el más mínimo rastro.

Los impactos positivos de la actividad agraria no sólo se manifiestan en la biodiversidad planeada por los agricultores, sino que también influye sobre la biodiversidad natural asociada a los cultivos. En los márgenes de cultivos, setos y barbechos aparece todo tipo de plantas silvestres, de pequeño porte y con producción de enormes cantidades de semillas, que sirven como alimento principal a gran número de comunidades faunísticas, tanto de vertebrados como de invertebrados (Nichols 2001).

Los cultivos cerealistas constituyen el hábitat adecuado para numerosas aves esteparias. Los cultivos arbóreos de secano cobijan una avifauna muy llamativa, junto a mamíferos y reptiles. Las charcas y pozas ganaderas, creadas por el hombre, son utilizadas por anfibios de interés, al mismo tiempo que albergan una fauna acuática muy valiosa constituida, a menudo, por especies de invertebrados endémicos. En huertas y regadíos viven numerosas especies de aves, anfibios y reptiles de interés comunitario.

Problemática actual de la agrobiodiversidad

La Biodiversidad Agraria constituida, como acabamos de ver, por paisajes, recursos genéticos y cultura campesina, se encuentra en grave peligro de extinción (Fig. 1). En países industrializados, como España, el cambio tecnológico que se produce en la agricultura con la denominada "revolución verde" (mecanización, regadío con aguas profundas, aplicación masiva de fertilizantes de síntesis y biocidas, utilización de semillas mejoradas), no puede ser asimilado por multitud de pequeñas ex-

plotaciones familiares con rentas insuficientes.

Este hecho, unido a la pérdida de calidad de vida en el medio rural (falta de escuelas, sanidad deficiente, ausencia de alternativas de empleo, escasas infraestructuras, trabajo "de sol a sol", ausencia de vacaciones, ...) provoca el histórico proceso de éxodo rural hacia zonas urbanas e industrializadas, iniciado en los años 50 del pasado siglo. De este modo, la actividad agraria tradicional ha quedado en manos de una población envejecida con tendencia a desaparecer. El campesino se ha convertido así en la principal "raza autóctona" en peligro de extinción. Y con él, desaparece toda su cultura acumulada durante milenios.

Los paisajes agrarios de secano, como las terrazas levantinas, los campos cerealeros o las zonas de pastizal, además, han sufrido una auténtica mutación ligados al nacimiento de una estructura agraria particular, los nuevos regadíos (Pérez Picazo 1995). Para acondicionarlos se ha recurrido al empleo masivo de bulldozers, que han aterrizado pendientes y allanado superficies, se ha recurrido a un mar de plástico para forzar los cultivos y se han construido enormes balsas con el fin de almacenar las aguas procedentes de profundas perforaciones subterráneas o, como en la Región de Murcia, del trasvase Tajo-Segura. La proliferación de macroubanizaciones y campos de golf, en los últimos años, ha completado esta profunda transformación del paisaje en muchos puntos del litoral mediterráneo.

Los regadíos históricos localizados en la periferia de las ciudades, como Murcia o Valencia, están afectados por un rápido proceso de regresión y, en algunos casos, de desaparición, con el consiguiente despilfarro de terrenos de cultivos muy fértiles y de los caudales que los regulaba. En la Huerta de Murcia se ha perdido definitivamente, por su transformación en suelos urbanos e industriales, como mínimo un 14 % de la superficie inicial (Martínez & Esteve 2003). El espacio agrícola que queda, de acuerdo con Pérez Picazo & Lemunier (2003), se ha transformado en un espacio sin agricultores, cuyos habitantes los cultivan a tiempo parcial en ratos de ocio y en un medio muy deteriorado, que sufre el abandono de viejas normas organizativas.

La transformación de la agricultura tradicional en otra de tipo industrializada ha afectado también, de forma muy negativa, a los recursos genéticos para la alimentación. La sustitución de las variedades locales por otras mejoradas (Iriando 2001), la homogeneización de los agroecosistemas a través del monocultivo y la normativa legal vigente (Guzmán *et al.* 2000, Soriano 2006) se encuentran entre las principales causas de la fuerte erosión a que se ven sometidos en las últimas décadas. Esquinas-Alcázar, secretario de la Comisión Intergubernamental de la FAO sobre recursos genéticos para la agricultura y la alimentación, en declaraciones realizadas al diario El País (12.06.06) advierte que el 75 % de la diversidad genética de los cultivos se ha perdido durante el último siglo. Además, de las 7.000 a 10.000

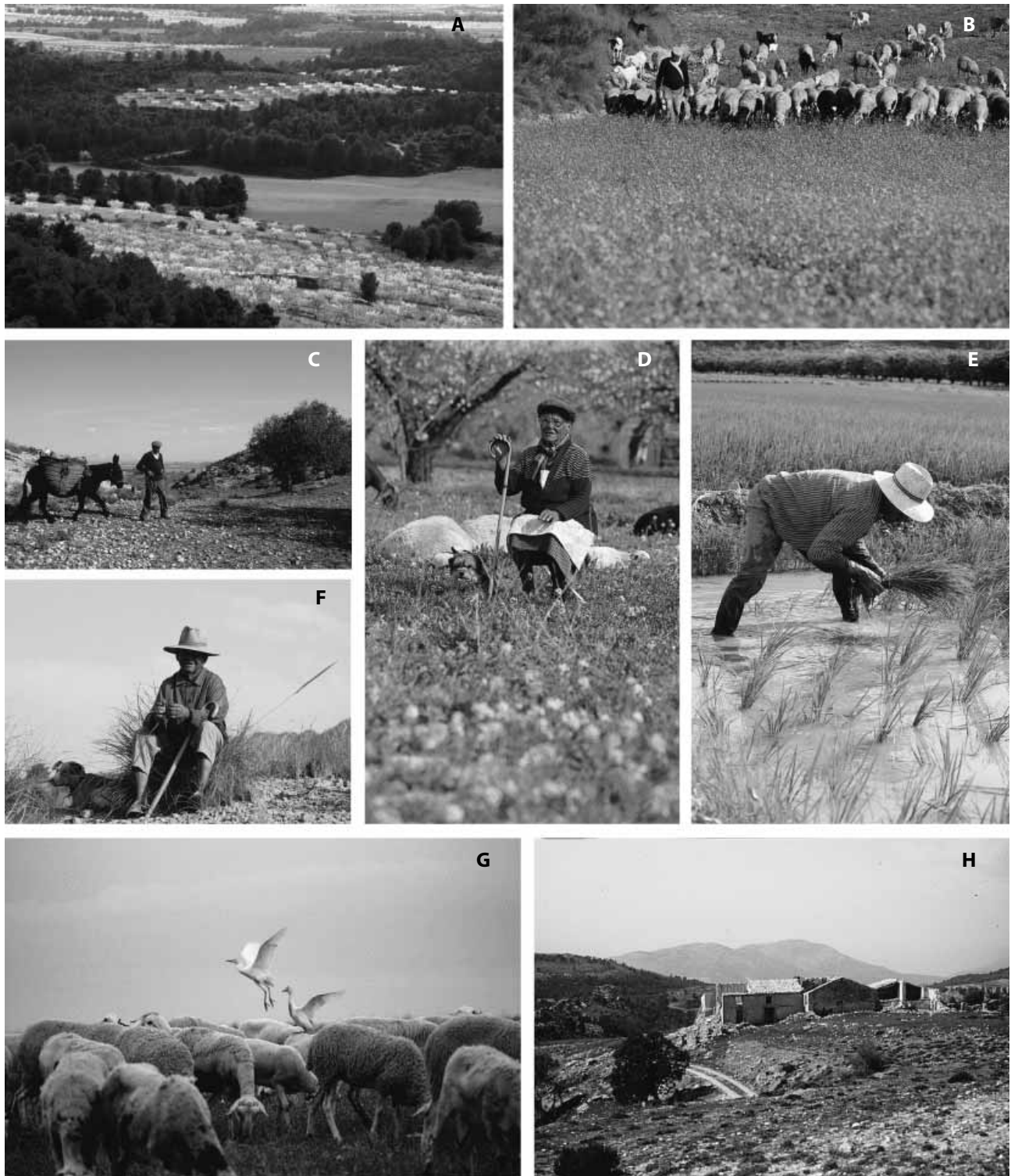


Figura 1. Biodiversidad agraria en peligro de extinción o extinta. A-B) Paisajes agrarios. C-F) Cultura campesina. G) Fauna silvestre asociada a agroecosistemas. H) Cortijo abandonado (Sierra de Villafuente, Murcia).

especies que el ser humano ha utilizado históricamente para sus necesidades, hoy, sólo cultiva unas 150, de las cuales, sólo, doce de ellas representan más del 70 % del consumo humano. La pérdida de estos recursos genéticos es un proceso irreversible que supone una grave amenaza para la estabilidad de los ecosistemas, el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria (Martín 2001). Cambios imprevisibles en los agroecosistemas pueden

hacer improductivos los híbridos comerciales que hoy se cultivan, al trabajar en una banda genética más estrecha y más sensible a enfermedades o a pequeños episodios climáticos variables con resultados de estrago (Esquinas-Alcazar 1993)

La desaparición de este patrimonio natural y cultural, de valor biológico, paisajístico y sociocultural incalculable, es un lujo que no nos podemos permitir. Hemos

heredado del pasado unos recursos que debemos mantener para el futuro. Y, sin embargo, no hacemos prácticamente nada por conservar y gestionar los agroecosistemas tradicionales. La Política Agraria Comunitaria ha potenciado las grandes explotaciones modernizadas y relacionadas con los mercados internacionales y se ha olvidado de la agricultura familiar. La política ambiental, nacional e internacional, se ha centrado en la protección de espacios naturales, en la conservación de la flora y la fauna silvestre y se ha olvidado de una parte importantísima de la biodiversidad que, como ya hemos comentado, es producto del trabajo de miles de campesinos de diferentes culturas (Egea-Fernández & Egea-Sánchez 2006a). Esta falta de sensibilidad probablemente está claramente relacionada con el desconocimiento general de la sociedad del rico patrimonio agrario que aún atesoramos, de la problemática a la que está sometido y del potencial que representan estos recursos endógenos para el mantenimiento de un mundo rural vivo y dinámico.

Lugares de interés agroecológico. Estrategias de conservación

Los agroecosistemas tradicionales, de acuerdo con lo expuesto, están muy alterados, en vías de extinción, o completamente extintos. Ante esta pérdida insostenible de biodiversidad agraria consideramos de vital importancia inventariar y catalogar los agroecosistemas más relevantes y analizar las formas más adecuadas para su conservación y gestión.

En este sentido, en la Región de Murcia hemos iniciado un estudio para localizar y describir áreas que denominamos (Egea-Fernández & Egea-Sánchez 2006a, b) como *Lugares de Interés Agroecológico* (LIAs). Se trata de "áreas de cultivos tradicionales que presentan una gran diversidad de recursos genéticos, que han contribuido de forma más o menos significativa al desarrollo socioeconómico de su entorno y que conservan elementos culturales relevantes, vinculados a la historia y al paisaje". Entre los espacios inventariados hasta la fecha en la Región de Murcia destacamos (Egea-Fernández & Egea-Sánchez 2006b, Egea-Fernández et al. 2006) el Coto arrocero de Calasparra y Salmerón, la Huerta de Murcia, el Valle de Ricote, el Cordel de Rotas, las Salinas de la Ramona y algunos núcleos rurales de los municipios de Moratalla (Arroyo Blanco, Bajil, Rincón de los Huertos). Dentro de este concepto se incluirían los *ecovergers*, definidos (VV AA 2005) como formaciones arboladas "cultivadas", extensivas, tradicionales, familiares, que no han adoptado el giro uniformador de la arboricultura intensiva como, por ejemplo, los montados, dehesas y olivares ibéricos, los castañares ibéricos y franceses, los cerezos del Valle del Jerte o las pomaradas atlánticas.

Todo este rico patrimonio agrario debe ser conservado, de igual modo que se hace con los ecosistemas naturales. Sin embargo, no existe, por lo menos en nuestro

país, una figura clara destinada a proteger los agroecosistemas tradicionales (Egea-Fernández & Egea-Sánchez 2006c). En el ámbito europeo, la situación es más o menos similar. La red Natura 2000 se ha pensado sólo para la conservación de diversos tipos de hábitats naturales, así como la fauna y flora silvestre de interés. Entre los criterios directores seguidos para la selección de los espacios a proteger, en ningún caso, figuraba la presencia de espacios ecoculturales relevantes o la conservación de la agrobiodiversidad. No obstante, algunos países europeos como Gran Bretaña, Suecia o Francia tienen mecanismos para conservar el patrimonio agrario, a través de contratos de gestión o explotación, a cambio de cumplir ciertos requisitos (Viladomiu & Rosell 2004).

De acuerdo con Baigorri (2004), la herramienta disponible que podría ser más efectiva para la protección de los LIAs y otros espacios ecoculturales de interés, a corto plazo, es la Ley del Suelo. El planeamiento urbanístico, frente a las ordenaciones meramente ambientales, permite la ordenación global del territorio, tanto el urbano como el rural. Además, es un mecanismo de protección del medio más participativo y más adaptado a las peculiaridades y necesidades locales, que otros instrumentos reglamentadores.

Por otro lado, los regadíos tradicionales deberían incluirse como elementos prioritarios en el consumo de agua. La especulación urbanística y los nuevos usos del agua constituyen una fuerte amenaza para mantener los valores naturales y culturales de los sistemas agrarios tradicionales ligados al cauce de los ríos, como en la cuenca del río Segura.

Estrategias de gestión y uso de los LIAs

Para la gestión de los LIAs los campesinos constituyen la especie "controladora", de la que depende el funcionamiento de todo el agroecosistema. De esta forma, todas las estrategias de gestión que nos planteemos deben pasar por mantener a los campesinos en su nicho. Y esto sólo lo podemos conseguir mejorando su calidad de vida en el medio rural, poniendo a su disposición las nuevas tecnologías, valorizando sus productos, aumentando y fortaleciendo su autoestima, integrándolo en la gestión y planificación integral del territorio. En definitiva, debemos restaurar y mejorar el hábitat de los agricultores, sus condiciones de vida, para que se incorporen a la sociedad del bienestar y participen activamente en el compromiso con la conservación del patrimonio natural y cultural. Si la especie clave no satisface sus necesidades en su nicho se desplazará a otros más favorables o intentará transformarlo en otro aparentemente más beneficioso (nuevos regadíos, urbanizaciones y campo de golf), como en definitiva ya está haciendo.

En la gestión de los LIAs, además, se debe mantener y restaurar todos los elementos que contribuyan a aumentar su diversidad, tanto la planificada como la asociada. De acuerdo con diversos autores (Altieri 1995,

Labrador 2002), entre los elementos más significativos para aumentar la biodiversidad de los agroecosistemas se encuentra la ganadería, los recursos genéticos locales, los setos, la asociación y rotación de cultivos y las cubiertas vegetales.

La ganadería permite diversificar la producción (carne, leche, huevos, ...) y aporta materia orgánica que favorece la fertilidad, así como la estructura y biodiversidad del suelo, disminuyendo los aportes químicos externos. Además, contribuye a la diversificación de cultivos (especies forrajeras y de interés pascícola) y al aprovechamiento de residuos y excedentes de cosechas.

La utilización de variedades y razas adaptadas a las condiciones ecológicas locales, es fundamental para conservar la diversidad genética y para la disminución de insumos químicos, como biocidas y fertilizantes. Además, devuelve la autonomía a los agricultores frente a las casas comerciales de semillas y de sus paquetes tecnológicos asociados a las variedades comerciales (Soriano 2006). La diversificación de productos de calidad a partir de los recursos genéticos endógenos puede potenciar de forma significativa el desarrollo del medio rural, a través del agroturismo, los mercadillos locales y la gastronomía.

Los setos y vallados vivos durante siglos han formado una malla estructural típica de paisaje rural, utilizada para proteger tanto las cosechas como el ganado de depredadores y de las agresiones exteriores. Estos elementos, eliminados en las últimas décadas de los sistemas agrarios, disminuyen los efectos negativos del viento (caída de frutos, rotura de ramas) y la erosión del suelo en zonas de pendientes. Al mismo tiempo proporcionan refugio y constituyen fuentes de alimentos para ciertos individuos de la flora, fauna y microfauna, entre los que se encuentra muchos insectos auxiliares, de interés para el control biológico de plagas y enfermedades (Nichols 2001, 2006). Además, hay que tener en cuenta que los setos crean diversidad y belleza en el paisaje, lo que representa un atractivo para el turismo alternativo en zonas rurales.

La rotación y asociación de cultivos introduce diversidad a los agroecosistemas en el tiempo y en el espacio, al mismo tiempo que se aprovechan al máximo los recursos del suelo y hay menores riesgos de erosión que con el monocultivo. Su práctica es indispensable para mantener la fertilidad de los suelos y evitar los problemas fitosanitarios y de plantas adventicias que pueden suponer la reiteración de determinados cultivos en una parcela.

Las cubiertas vegetales poseen un papel importante en el funcionamiento del agroecosistema al evitar y recuperar nutrientes del suelo, aportar materia orgánica, proteger el suelo de la erosión y desecación, o dinamizar procesos biológicos del suelo.

En los Lugares de Interés Agroecológico, así como en los espacios agrícolas situados en el interior de espacios naturales protegidos, se debería apostar por sistemas

de producción ecológica. Estos agroecosistemas, libres de la especulación urbanística y destinados a mantener una elevada biodiversidad, constituyen un espacio potencial ideal para investigar sobre las bases técnicas y científicas de la Agroecología.

Conclusiones

Los agricultores y ganaderos, con su estrategia de gestión y uso, han sabido crear y mantener agroecosistemas productivos y sostenibles durante milenios. Sin embargo, la insuficiente valoración de sus cualidades ambientales, paisajísticas, históricas y culturales ha conducido no solo a la ausencia de medidas para su mantenimiento, sino que además se han favorecido iniciativas que promueven su desaparición o transformación en nuevos usos.

La pérdida de calidad de vida de la población campesina, el sistema agrícola potenciado desde la PAC y el modelo de desarrollo urbanístico, se encuentran entre las principales causas de esta destrucción sin precedentes en el Medio Rural.

Ante esta situación, urge realizar trabajos para conocer cuales son nuestros recursos agrarios de interés e intentar recuperarlos y conservarlos, junto al conocimiento agrícola asociado a dichos recursos. Si no actuamos de forma rápida, en unas pocas décadas habrá desaparecido de nuestros campos toda señal de identidad. Una de las herramientas principales para conservar los paisajes agrarios tradicionales es a través del planeamiento urbanístico. Los Planes Generales de Ordenación Urbana permiten calificar un suelo no urbanizable por su interés paisajístico o cultural.

Las políticas relacionadas con el desarrollo rural y la conservación de la biodiversidad deben contemplar, entre sus objetivos prioritarios, el asentamiento de la población si queremos mantener un mundo rural vivo, diversificado y sostenible. La conservación, recuperación y gestión de los LIA's (y de los espacios naturales) no se puede realizar de ningún modo sin el compromiso de los campesinos. Sólo su presencia en el campo y su compromiso con actitudes respetuosas con el entorno, puede permitir conservar la biodiversidad agraria y natural.

Los LIA's bien manejados pueden ser una fuente de actividades y empleos en el medio rural, relacionados con la producción, transformación y comercialización de productos endógenos de calidad; así como a través de la valorización turística del medio rural asociada a los paisajes agrarios.

Agradecimientos

A Alonso Torrente (Calasparra) autor de las fotografías incluidas en la figura 1. Nuestro agradecimiento a la Dirección General de Ciencia, Tecnología y Sociedad de la Información de la Región de Murcia y a INTEGRAL, Sociedad para el Desarrollo Rural, por la financiación parcial de este estudio.

Referencias

- Altieri MA. 1995. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. CLADES. La Habana, Cuba.
- Baigorri. A. en línea. Agricultura, protección del medio y ordenación del territorio. <http://www.unex.es/sociolog/BAIGORRI/papers/cob.pdf> (Consulta: mayo 2006).
- Coscollá R. 1998. Residuos de productos fitosanitarios y su control. En Agricultura Sostenible (Jiménez Díaz RM, Lamo de Espinosa J, coord.). Madrid: Mundi-Prensa, 377-397.
- de la Cuadra C. 2003. Utilización de los recursos fitogenéticos en agroecología. En Agroecología y Agricultura Ecológica. Situación Actual y Perspectivas (Egea-Fernández JM, coord.). Murcia: INTEGRAL, pp. 179-183.
- Egea-Fernández M J. 2003. Sistemas agroambientales como alternativa a la agricultura industrializada en el Medio Rural. En Agroecología y Agricultura Ecológica. Situación actual y perspectivas (Egea-Fernández JM, coord.). Murcia: INTEGRAL, pp. 23-30.
- Egea-Fernández JM, Egea-Sánchez JM. 2006a. Sistemas agrarios tradicionales en el levante español. Algunas estrategias de conservación y gestión. *Escardar* 12: 30-32.
- Egea-Fernández JM, Egea-Sánchez JM. 2006b. Retos y oportunidades de la Red Natura 2000 en la Comarca del Noroeste. Actas de las Jornadas sobre La Red Natura 2000 en la Comarca del Noroeste: Situación actual y perspectiva de futuro (en prensa).
- Egea-Fernández JM, Egea Sánchez JM. 2006c. Agroecología y conservación de recursos fitogenéticos. Actas de la I Jornada sobre Agroecología y Ecodesarrollo de la Región de Murcia. *Progresos y Problemas*. INTEGRAL. Murcia.
- Egea-Fernández JM, Egea-Sánchez JM, Fernández S, Sánchez-Gómez P, Catalá Giménez M. 2006. Áreas de interés fitogenético del centro y noroeste de la Región de Murcia. En Agroecología y Agricultura Ecológica. *Progresos y problemas* (Egea-Fernández JM, coord.). Murcia: INTEGRAL, pp. 45-50.
- Esquinas-Alcázar JT. 1993. La diversidad genética como material básico para el desarrollo agrícola. En *La Agricultura del Siglo XXI* (Cubero JI, Moreno MT, eds.). Madrid: Mundi-Prensa, pp. 79-102.
- Gúzmán Casado GI, González de Molina M, Sevilla E. 2000. Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible. Madrid: Mundi-Prensa.
- Iriondo JM 2001. Conservación de los recursos fitogenéticos. En *Conservación y caracterización de los recursos filogenéticos* (González-Andrés F, Pita JM, eds.). Valladolid: Publicaciones INIA, pp. 15-31.
- Labrador J, Guibertau A. 1990. La agricultura ecológica. Hojas Divulgadoras 11/90. MAPA.
- Labrador J, Sarandón S. 2001. Aproximación a las bases del pensamiento agroecológico. En *Agroecología y Desarrollo* (Labrador J, Altieri MA, eds.). Madrid: Mundi-Prensa, 21-48 pp.
- Labrador J. 2002. Aproximación a las bases técnicas de la agricultura ecológica. En *Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica* (Labrador J, Porcuna JL, Bello A, eds.). Madrid: Mundi-Prensa, 17-36 pp.
- López Bellido L. 1998. Agricultura y Medio Ambiente. En *Agricultura Sostenible* (Jiménez Díaz RM, Lamo de Espinosa J, eds.). Madrid: Mundi-Prensa, 15-38 pp.
- Martín I. 2001. Conservación de Recursos Fitogenéticos. Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, núm. 2114HD.
- Mártinez J, Esteve MA. 2003. Dinámica y sostenibilidad ambiental de los regadíos murcianos. En *Los recursos naturales de la Región de Murcia un análisis interdisciplinar* (Esteve MA *et al*, eds.). Murcia: Universidad de Murcia, pp. 213-222.
- Nichols C. 2001. Manipulando la biodiversidad vegetal para incrementar el control biológico de insectos plaga en agrosistemas. En *Agroecología y Desarrollo* (Labrador J, Altieri MA, eds.). Madrid: Mundi-Prensa, pp.
- Nichols C. 2006. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Agroecología* 1: 35-46.
- Olea N, Molina MJ. 2001. La agricultura intensiva: efectos sobre la salud. En *Agroecología y Desarrollo* (Labrador J, Altieri MA, eds.). Madrid Mundi-Prensa, pp. 247-264.
- Pérez Picazo MT. 1995. Introducción histórica. En *Agua y futuro en la Región de Murcia* (Senent M, Cabezas F, eds.). Murcia: Asamblea Regional de Murcia, pp. 13-39.
- Pérez Picazo MT, Lemeunier G. 2003. Los sistemas agrarios de la Región de Murcia durante medio milenio (1500-2000). En *Los recursos naturales de la Región de Murcia un análisis interdisciplinar* (Esteve MA *et al*, eds.). Murcia: Universidad de Murcia pp. 170-200.
- Sempere J, Riechmann J. 2000. *Sociología y Medio Ambiente. Síntesis Sociológica*. Madrid.
- Soriano JJ. 2006. Agroecología y gestión de la agrodiversidad. En *Agroecología y Agricultura Ecológica. Progresos y problemas* (Egea-Fernández JM, coord.). Murcia: INTEGRAL, pp. 79-87.
- Viladomiu L, Rosell J. 2004. La consideración del paisaje en la política agraria y rural. II Jornadas sobre desarrollo rural en la Región de Murcia. Universidad de Murcia.
- VVAA. 2005. *Ecoverger, un proyecto para los sistemas agrosilvopastorales europeos*. Fundación Global Nature.

BIOFUMIGACIÓN Y BIOSOLARIZACIÓN EN EL CONTROL DEL ToMV: UNA BUENA ALTERNATIVA AL BROMURO DE METILO

Juan Carlos Vilaseca, María Isabel Font, Concepción Jordá

Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n 46022, Valencia. E-mail: juaviber@doctor.upv.es

Resumen

Los restos de cosechas son a menudo portadores de insectos, ácaros y agentes de fitopatógenos, desaconsejando su presencia en campo. Sin embargo el proceso de compostaje en el interior del suelo mediante los procesos de biofumigación y biosolarización, favorecen el control de estos agentes en función de la temperatura, tiempo, microorganismos implicados, plantas empleadas y características del suelo. Este trabajo determinó, en condiciones controladas, la eficacia de la biofumigación y biosolarización en el control del virus del mosaico del tomate en macetas empleando 3 dosis de material vegetal infectado con el virus y en mangas de fibra de coco de un año de uso donde quedaban restos de raíces del cultivo anterior infectadas con el virus. Tanto las macetas como las mangas de fibra de coco fueron sometidas a diferentes tratamientos de embolsado, no embolsado y tiempo de tratamiento. Se consideró biofumigación al tratamiento con 25 °C y biosolarización al tratamiento con 45 °C. Los resultados obtenidos demuestran la eficacia de la biosolarización en el control del virus en macetas sobre la biofumigación; ya que tan solo 4 semanas de tratamiento fueron suficientes frente a las 6 semanas necesarias en la biofumigación. En las mangas de fibra de coco la biosolarización durante 5 semanas resultó ineficaz para el control del virus, pero se redujo el porcentaje de plantas infectadas y se observó un mayor desarrollo vegetativo y el adelanto en su floración. La biofumigación y biosolarización pueden ser consideradas como técnicas alternativas al uso del Bromuro de metilo en el control de agentes fitopatógenos.

Palabras clave: Bromuro de metilo, biofumigación, biosolarización, virus, ToMV.

Summary

Biofumigation and biosolarization for the control of tomv: a good alternative for the use of methyl bromide

Crop residues are often an important source of insects, mites and phytopathogenic agents avoiding their presence in the field. Nevertheless, the process of composting in the soil by means of biofumigation and biosolarization can help to control these agents depending of some factors as temperature, time of treatment, implicated microorganisms and the kind of soil. This research deals about the use of biofumigation and biosolarization for the control of *Tomato mosaic virus* (ToMV) under controlled conditions in pots and 3 different doses of infected vegetal material with the virus were used. Cocopeat slabs infected with the virus were used, too. These growbags had been used during one year and the virus was detected on the remained roots.

Both pots and growbags were placed in open or shut plastic bags and were treated at different temperatures during different periods of time. The treatment at 25 °C was considered as biofumigation and the treatment at 45 °C was considered as biosolarization. Since 4 weeks of treatment at 45 °C was sufficient to control ToMV in pots, biosolarization was more effective than biofumigation. 6 weeks of treatment at 25 °C were necessary to control the virus. In growbags, 5 weeks of treatment at 45 °C were not sufficient to control the virus, but the percentage of infected plants was reduced and a greater development and premature flowering period were observed. Biofumigation and biosolarization can be considered as alternative techniques for the use of Methyl Bromide for the control of phytopathogenic agents.

Key words: Methyl Bromide, biofumigation, biosolarization, viruse, ToMV

Introducción

El bromuro de metilo (en lo sucesivo, BM) ha sido el producto químico más ampliamente utilizado comercialmente para la fumigación del suelo en agricultura intensiva debido a sus propiedades como gas fumigante del suelo de alta eficacia y rápida actuación en el control de enfermedades de origen edáfico, mostrando un amplio espectro de actividad frente a los patógenos. Sin embargo el BM no se retiene en su totalidad en el suelo, sino que del 50 al 95% pasa en forma de emisiones gaseosas a la estratosfera, donde se liberan átomos de bromo que reaccionan con el ozono y otras moléculas estables que contienen cloro, dando lugar a una reacción en cadena que contribuye a la disminución de la capa de ozono, incrementando la emisión de rayos ultravioleta (Thomas 1997, Müller *et al.* 1999). Además, una de las principales desventajas de este producto radica en su alta toxicidad, reduciendo la biodiversidad del suelo y provocando problemas de fitotoxicidad y contaminación.

En el protocolo de Montreal de 1997, se determinó la retirada del BM antes del año 2005 en los países desarrollados quedando su uso limitado a pequeñas cantidades dedicadas a usos críticos. Actualmente en horticultura uno de los mayores retos es el encontrar alternativas a la aplicación de determinados productos fitosanitarios y, en especial al mencionado BM.

Aunque han surgido diversos métodos alternativos al uso del mismo para la desinfección de suelos (Rodríguez-Kabana 1997), su eficiencia debe ser comparada en cada caso y necesidad. Muchas de estas alternativas han sido discutidas en los distintos seminarios y publicaciones del *Methyl Bromide Technical Options* Comité (MBTOC). Las alternativas pueden clasificarse en químicas y no químicas, pero algunas de estas últimas, por sí mismas y de forma individual han demostrado no tener una buena eficacia ni consistencia para controlar las plagas del suelo y son necesarias combinaciones con otros métodos de control para reemplazar a la fumigación del suelo con este producto. En cuanto a las alternativas químicas, algunas de sus combinaciones se han mostrado efectivas, pero el perfil toxicológico debe ser tenido en cuenta ya que su potencial toxicidad puede resultar una restricción importante a la hora de sustituir al BM. Según Stepleton (2000) el uso de Cloropirina, 1,3-Dicloropropeno, Ethylene dibromide (EDB), Metam sodio y Dazomet, así como sus combinaciones serían algunas posibles alternativas químicas, pero el uso de Cloropirina ya cuenta con prohibición en algunos países. La utilización de este producto en combinación con el Telone, considerado como buen fungicida y nematicida, plantea medidas restrictivas por ser sospechosa su combinación de cancerígena; así como el Metan sodio y Dazomet, con menor acción fumigante que el BM pero que actúan como contaminantes (Bello & Díaz-Rojo 2004). Hasta el momento las alternativas encontradas

plantean serias dudas sobre su eficiencia pero el punto más trascendente a tener en cuenta es la posibilidad de encontrarnos con problemas de toxicidad importantes e incluso más que el que se pretende solucionar.

Entre las alternativas no químicas se incluyen los métodos para tratar el suelo sin el uso de pesticidas para eliminar malas hierbas y plagas, o aquellos métodos de cultivo de plantas en sustrato sin suelo. Entre estas se encuentran el uso de las enmiendas orgánicas, la rotación de cultivos, las técnicas de control biológico con la utilización de hongos (*Trichoderma sp*, *Gliocladium sp*) y/o bacterias (*Bacillus sp*, *Pseudomonas sp*, etc) antagonistas, las prácticas culturales, el empleo de material de plantación sano, la búsqueda de variedades resistentes, el injerto y los métodos físicos como termoterapia con vapor de agua, agua caliente, solarización o la combinación de algunas de las técnicas citadas, dando como resultado un manejo integrado del cultivo. Dentro de las consideradas como prácticas culturales empleando materia orgánica, se encuentra la biofumigación que en combinación con otras como las pertenecientes a los métodos físicos, por ejemplo la solarización, puede aumentar la eficacia de estas últimas (Rodríguez-Kabana 1997).

En lo referente a la biofumigación como alternativa al BM, la materia orgánica a través de sus procesos de biodegradación supone una prometedora alternativa en la regulación de los patógenos del suelo. La biodegradación de la materia orgánica está basada en los mismos principios de los fumigantes que el BM (Bello *et al.* 2000), la única diferencia se encuentra en que la biofumigación utiliza los gases y otros productos resultantes de la biodegradación de las enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales. Su eficacia se incrementa al incorporarla en los sistemas de manejo integrado de cultivos, diferenciándose del simple uso de enmiendas orgánicas tanto en las características de los materiales que se utilizan como biofumigantes como en los métodos de aplicación resultando una técnica de bajo coste y fácil aplicación (Bello *et al.* 2003). La efectividad de la biofumigación es similar a la de otros pesticidas convencionales, pero al mismo tiempo mejora las características tanto del suelo como de la planta. Cuando se emplea biofumigación se hace necesario el diseño de metodologías de manejo para cada situación. El coste de la biofumigación puede resultar muy económico cuando se emplean estiércoles animales, abonos verdes o mucho más cuando se utilizan los propios restos de cultivo, recomendando el uso de recursos locales como biofumigantes por el bajo coste del transporte, principal factor que puede ser limitante de la técnica. Los problemas que pueden aparecer relacionados con la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas, como el caso de un déficit en nitrógeno, pueden solucionarse con una fertilización adecuada (Bello & López-Pérez, 2002). Bello *et al.* (2003) afirma que el mayor problema en el uso de enmiendas orgánicas es la heterogeneidad en la composición de las materias utilizadas, siendo necesario su

total conocimiento evitando la acumulación de compuestos que podrían resultar perjudiciales, así como el aumento del nivel de inoculo de algunos patógenos. La acción de los microorganismos sobre la materia orgánica durante su descomposición produce una gran cantidad de productos químicos entre los que se encuentran amonio, nitratos, ácido sulfhídrico y un gran número de sustancias volátiles y ácidos orgánicos.

Los restos de cosechas son a menudo portadores de insectos, ácaros y diversos agentes de naturaleza fúngica, bacteriana o vírica. De siempre han sido considerados como un peligro y se ha desaconsejado su presencia en campo. Poco se conoce de la mayoría de ellos, sobre su permanencia viable, pero el abandono de los cultivos afectados en el campo o dejarlos sobre el suelo se ha considerado con acierto que supone un alto riesgo de contaminación para cultivos posteriores. Sin embargo si este material vegetal infectado es sometido a un proceso de compostaje se ha comprobado que el riesgo desaparece (Aparicio *et al.* 1995). Para biofumigación se pueden incorporar al suelo estos restos de cosecha produciéndose su descomposición en el interior del mismo y por lo tanto el citado proceso de compostaje tiene lugar dentro del suelo. Las prácticas de biofumigación empleando dichos restos permiten su eliminación y, por otra parte, el efecto de las sustancias volátiles que se desprenden en su descomposición y que son liberan al suelo favoreciendo el control de los citados agentes fitopatógenos en función de determinados parámetros siendo los más importantes la temperatura, los microorganismos implicados, las plantas empleadas y las características del suelo. Por otra parte con la utilización de los restos de cosecha se consigue eliminar el acumulo de los mismos con el grave problema de impacto ambiental que estos constituyen al amontonarse en las inmediaciones de los campos de cultivo. Ante esta posibilidad y conocedores de que los restos de cosecha pueden ser portadores de diferentes enfermedades este artículo presenta los estudios preliminares de esta técnica empleando material vegetal infectado con un agente patógeno de reconocida estabilidad e importancia y que ha planteado importantes problemas económicos y de gestión de los residuos vegetales.



Figura 1: Sintomatología de ToMV en tomate: A) Planta de tomate que presenta mosaico verde claro-verde oscuro del follaje con distorsión de las hojas jóvenes y abullonado. B) Mosaico amarillo sobre fondo rojo en frutos de tomate.

Este trabajo aborda el estudio preliminar de la influencia de la biofumigación/biosolarización sobre uno de los virus más estables, de fácil transmisión mecánica y de gran permanencia en el suelo como es el virus del mosaico del tomate (*Tomato mosaic virus*, ToMV) (Fig. 1).

El ToMV ha sido uno de los virus que más ha afectado al cultivo del tomate hasta la aparición de variedades resistentes, resistencia que ha hecho olvidar a los productores de esta hortícola los problemas que esta entidad viral ha causado durante años en el cultivo. Aún hoy en día sigue siendo uno de los virus más importantes debido a sus continuas apariciones y produciendo grandes pérdidas en este cultivo al que afecta tanto en las variedades autóctonas, al no poseer genes de resistencia, como a los tomates tipo "cherry" cuyo cultivo y comercialización se ha incrementado en los últimos años y últimamente el riesgo de superación de la resistencia en las variedades comerciales debido a la detección de una nueva cepa del virus (Tm-2²) (Aramburu & Galipienso 2005), amenaza de nuevo el futuro sanitario de esta hortícola. El material infectado con este virus puede permanecer infectivo durante largos periodos de tiempo incluso varios años en caso de hojas secas.

Los restos de cultivo abandonados en el campo y en el invernadero constituyen una de las principales fuentes de contaminación para el cultivo siguiente. Esta situación se hace todavía más patente, si cabe, cuando se utilizan mangas de fibra de coco, ya que las raíces acumuladas en las mangas originadas por las plantas del cultivo del año anterior, sirven de foco de infección a las nuevas plántulas trasplantadas, impidiendo al productor su reciclado y obligándole a su eliminación y cambio anual con el correspondiente perjuicio económico que esto significa.

En el presente trabajo se ha abordado el estudio del efecto de la biofumigación y biosolarización en condiciones controladas, empleando restos de material vegetal infectado por ToMV, para conseguir su eliminación.

Materiales y Métodos

Biofumigación y biosolarización para el control de ToMV en macetas en condiciones controladas

Se seleccionó como ya hemos indicado previamente para realizar este estudio uno de los virus más estables que existe en el mundo vegetal, el ToMV (*Tomato mosaic virus*), virus que es capaz de sobrevivir en material vegetal seco durante largos periodos de tiempo, incluso años. Además de esta propiedad hay que citar su fácil transmisión mecánica siendo éste uno de los virus de permanencia en suelo a tener en cuenta. El objetivo de esta selección era demostrar que si era posible conseguir su eliminación mediante la aplicación de las técnicas de biofumigación y/o biosolarización con un virus de las características de estabilidad del citado, con ma-

por facilidad se podría aplicar a otras entidades fitopatógenas. El aislado seleccionado fue el 6176 procedente de Almería, de planta de tomate. Este estudio se ha realizado en macetas y en condiciones absolutamente controladas como paso previo a su aplicación en campo, teniendo en cuenta que el suelo como ente complejo requerirá un estudio profundo según las características del mismo previo a la implantación de esta posible desinfección de forma rutinaria.

Se consideró biofumigación al tratamiento con temperatura de 25 °C y biosolarización a 45 °C, aunque con el convencimiento de que la utilización de solarización en combinación con biofumigación puede alcanzar temperaturas muy superiores a los 45 °C cuando esta biosolarización se realice en campo en los meses de julio y agosto.

1. Obtención de material vegetal libre de virus para los ensayos de biofumigación y biosolarización

Se prepararon semilleros para la obtención de plantas sanas para su utilización posterior tanto como testigo negativo, como en la multiplicación del virus en condiciones controladas y para el posterior trasplante sobre el sustrato sujeto a los tratamientos de biofumigación y biosolarización. Para ello se emplearon semillas de la variedad Marmande termotratadas y una vez pre-germinadas se transplantaron a bandejas de alvéolos que contenían sustrato (turba rubia) y arena de sílice (tamaño 3) situándose en un Fitotrón con una temperatura de 25 °C/20 °C, 60 % humedad relativa (HR) y 16 horas de luz. En estas condiciones las plantas sanas a los 14 días ya habían alcanzado el tamaño adecuado para su trasplante (3-4 hojas verdaderas) y/o para la inoculación con ToMV. Las plantas que fueron posteriormente utilizadas como testigos sanos permanecieron aproximadamente un mes en estas condiciones de aislamiento hasta obtener una cantidad de masa vegetal suficiente para su troceado y posterior mezclado con el sustrato estéril. Antes de su troceado e incorporación al sustrato, estas plantas de tomate, fueron analizadas para su buen estado fitosanitario frente al ToMV mediante la técnica serológica DAS-ELISA con el antisuero comercial de ToMV (Loewe Biochemica Sauerlach, Germany nº 07047S/500).

2. Obtención de material vegetal infectado con ToMV para los ensayos de biofumigación y biosolarización

Para la obtención de material vegetal infectado con ToMV se realizó una transmisión mecánica artificial a plantas de tomate, de las anteriormente obtenidas, con un estado de desarrollo de 3-4 hojas verdaderas. Para obtener suficiente material vegetal infectado para los ensayos propuestos se inocularon un total de 60 plantas sanas crecidas en condiciones de aislamiento como se ha descrito anteriormente. El inóculo para realizar dicha inoculación se preparó a partir de material infectado y homogeneizado con tampón de inoculación (tampón fosfato Na/K, pH: 7,2 0,01M + Bisulfito sódico 0,5 % +

EDTA 0,5 %) (1g/4ml). Las plantas fueron espolvoreadas previamente con un abrasivo (Carborundum de 600 mesh) frotando suavemente la lámina foliar de las plantas a inocular. Posteriormente las plantas se lavaron con agua destilada. Las plantas inoculadas se mantuvieron en invernadero bajo las condiciones anteriormente descritas.

Transcurridos 15 días de la inoculación mecánica artificial, se confirmó la presencia del virus en las plantas mediante diagnóstico serológico, empleando la técnica DAS-ELISA (apartado 1).

3. Ensayo de biofumigación y biosolarización para el control de ToMV en macetas

Para estudiar la influencia de la biofumigación y/o biosolarización en la eliminación del ToMV en material infectado se procedió de la forma que a continuación se describe, estableciendo tratamientos desde 0 hasta 7 semanas. Estos ensayos se repitieron en tres ocasiones. Se emplearon macetas de 15 cm de diámetro que se prepararon con 500g de sustrato por maceta a partir de una mezcla de turba rubia y arena gruesa en una proporción de 3 a 1, todo ello previamente autoclavado a 120 °C durante una hora. El material vegetal infectado con



Figura 2: A) material vegetal infectado con ToMV, troceado y mezclado con el sustrato. B) macetas con material vegetal enterrado y embolsadas (derecha) y no embolsadas (izquierda).

el virus fue troceado y posteriormente mezclado con el sustrato en tres proporciones diferentes 5, 10 y 15 g por cada 500 g de sustrato (3, 6 y 9 t por ha aproximadamente) (Fig.2A). También se prepararon, como testigos negativos y con las mismas dosis, mezclas con material vegetal de tomate sano y sólo sustrato. Se establecieron un total de siete lotes que coincidían con las siete semanas de duración total de los tratamientos para las dos temperaturas estudiadas. La mitad de las macetas fueron introducidas en bolsas de plástico de forma individual y se cerraron herméticamente para someterlas al proceso de biofumigación, evitando la salida de los gases generados en el proceso de descomposición del material vegetal, denominándolas "Embolsadas" (E). La otra mitad de las macetas se dejaron abiertas, denominándolas como "No Embolsadas" (NE) (Fig. 2B).

Una vez preparadas, las macetas fueron introducidas en estufas acondicionadas con las temperaturas de 25 y 45 °C. Semanalmente se sacaban las macetas correspondientes a cada lote y en ellas se transplantaban plantas de tomate sanas en un estado de 3-4 hojas verdaderas



Figura 3: Transplante de plántulas de tomate sano en estado de 3-4 hojas verdaderas a cada uno de los lotes.

(Fig. 3). Una vez realizado el transplante se colocaban en el invernadero en condiciones de aislamiento sanitario.

Aunque se es consciente de que a temperaturas más elevadas el periodo de tratamiento será menor, en este trabajo se pretende establecer el período de tiempo necesario para eliminar la infección de ToMV. Se realizó un seguimiento del ensayo mediante la observación de síntomas y determinando la presencia o ausencia del virus realizando el análisis de todas las plantas empleando la técnica serológica DAS-ELISA (apartado 1). Las plantas se analizaron al mes de su transplante ya que transcurrido este período éstas habían tenido tiempo suficiente para que se hubiera producido su infección en el caso de que en la mezcla del suelo con material vegetal infectado no se hubiera eliminado el virus con los respectivos tratamientos. El análisis de estas plantas se repitió al mes siguiente para comprobar los resultados obtenidos en el primer análisis y evitar dar como negativas aquellas plantas cuya carga viral fuera baja y no detectable mediante la técnica serológica empleada.

4. Análisis estadístico del ensayo de biofumigación y biosolarización para el control de ToMV en macetas

Los datos obtenidos sobre el control de la infección

del virus ToMV, se analizaron, mediante un modelo de regresión logística múltiple con variable dependiente dicotómica presencia/ausencia, considerándose 7 factores (3 dosis de 5, 10 y 15 g de material vegetal sano; 3 dosis de 5, 10 y 15 g de material vegetal infectado y 1 bandeja de testigo negativo sin material vegetal), macetas Embolsados y No Embolsados, 2 tratamientos a diferente temperatura de 25 y 45 °C, 4 repeticiones (4 macetas) y 8 lotes o semanas (lote 0 hasta el lote7). Se consideró "lote 0" o "semana 0" al grupo de macetas no sometidas a ningún tratamiento de temperaturas y se consideró "lote 7" o "semana 7" al grupo de macetas sometidas a 7 semanas de tratamiento de temperaturas. Los datos fueron analizados mediante el procedimiento *Logistic* del programa SAS versión 9.1 (SAS Institute) y el programa Excel 2003 mediante tablas y gráficos dinámicos (Pérez 2001, 2002).

Biosolarización para el control de ToMV en mangas de fibra de coco en condiciones controladas

Para llevar a cabo este ensayo en condiciones controladas se trasladaron hasta los invernaderos de la Universidad Politécnica de Valencia del departamento de Ecosistemas Agroforestales un total de 12 mangas de fibra de coco (100 x 18 x 16 cm, Pelemix Spain), procedentes de invernaderos localizados en Monserrat (Valencia) que tenían un año de uso en producción de tomate valenciano, cultivo éste que presentó una alta infección del virus del mosaico del tomate.

Antes de iniciar el experimento se comprobó la presencia de ToMV en las raíces del cultivo anterior que quedaron en el sustrato de las mangas, mediante la técnica serológica DAS-ELISA (apartado 1). Posteriormente las mangas se humedecieron hasta alcanzar la capacidad de campo y se dividieron en 3 grupos. El grupo nº 1 estaba constituido por 4 mangas que permanecieron en el invernadero en condiciones de aislamiento sin ningún tipo de tratamiento y se consideraron como testigos positivos; el grupo nº 2 estaba constituido por 4 man-



Figura 4: A) en segundo plano de esta imagen se encuentran las mangas de fibra de coco que permanecieron en el invernadero en condiciones de aislamiento sin ningún tipo de tratamiento (testigos positivos) y en primer plano de la imagen se encuentran las mangas de fibra de coco tratadas y embolsadas para evitar la salida de gases. B) mangas de fibra de coco transplantadas cada una de ellas con cinco plántulas de tomate sano en invernadero.

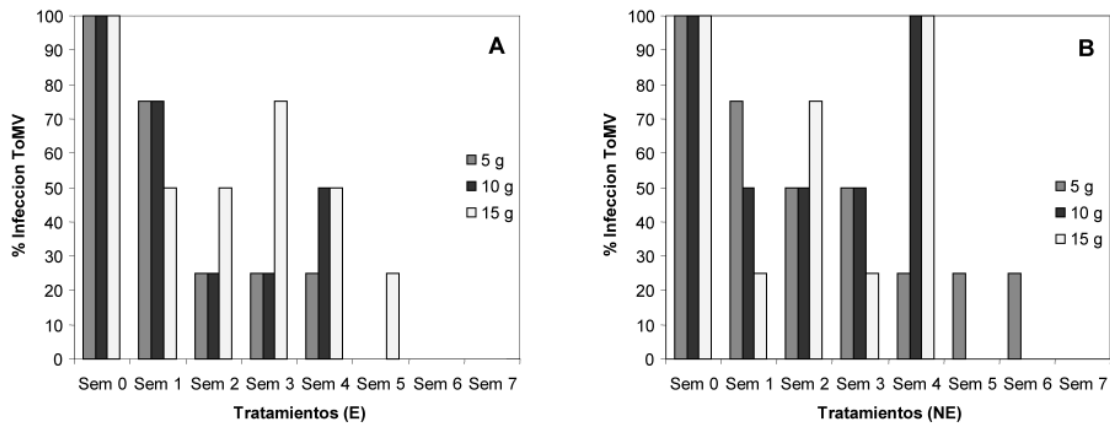


Figura 5: Control del ToMV a 25°C: A) macetas embolsadas (E) y B) macetas no embolsadas (NE).

gas que se envolvieron en plásticos evitando la salida de gases y el grupo nº 3 por otras 4 mangas que se dejaron abiertas (Fig. 4A). Las mangas correspondientes a los grupos 2 y 3 se trasladaron a estufa donde se sometieron a una temperatura de 45 °C durante un tiempo de 5 semanas, período éste que fue tomado como referencia de los ensayos anteriormente descritos. Transcurrido este tiempo, las mangas de fibra de coco termotratadas fueron trasladadas a invernadero donde se llevó a cabo el transplante de cinco plántulas de tomate sano por cada manga incluyendo las de los testigos (Fig. 4B).

Las plantas de tomate utilizadas en este ensayo fueron obtenidas a partir de semillas var. Marmande, termotratadas y el semillero obtenido en condiciones de aislamiento según se ha descrito anteriormente para asegurar su estado fitosanitario. El tiempo de permanencia de estas plantas en las mangas fue de un mes, tiempo suficiente para que el ToMV hubiera infectado las plantas de tomate a través de las raíces.

Transcurridos este período se comprobó la presencia o ausencia del virus mediante análisis utilizando técnica serológica DAS-ELISA (apartado 1).

1. Análisis estadístico del ensayo de biosolarización en el control de ToMV en mangas de fibra de coco

Los datos generados en el ensayo se analizaron mediante una regresión logística simple con el procedimiento de modelos lineales generalizados *Generalized Linear Models (Proc Genmod)* con distribución binomial, donde la variable explicativa es dicotómica presencia/ausencia del virus, se considera la variable independiente tratamiento: con y sin bolsa, y un testigo (sin tratamiento). Estos análisis fueron procesados mediante el programa de análisis estadístico SAS versión 9.1 (SAS Institute) incluido la transformación logit (link logit).

Resultados y discusión

Biofumigación en el control de ToMV en macetas en condiciones controladas

Los resultados obtenidos tras someter las macetas con material infectado a 25 °C durante periodos de

tiempo establecidas entre 0 y 7 semanas, y a su vez repetidos en tres ocasiones, resultaron ser coincidentes. Estos resultados quedan recogidos en la figura 5.

A 25 °C la biofumigación hace posible que porcentaje de infección con ToMV disminuya a medida que transcurren las semanas de tratamiento. En la semana 0 (sin tratamiento a 25 °C) el porcentaje de infección es del 100% para las tres dosis ensayadas, eliminándose por completo después de la semana 6 en el ensayo con macetas embolsadas y después de la semana 7 en el ensayo con macetas no embolsadas.

En cuanto a la dosis de material infectado empleada en el ensayo de biofumigación, parece ser que la infección con la dosis de 5 g disminuye progresivamente a medida que pasan las semanas de tratamiento, eliminándose por completo después de la semana 4 en el ensayo con macetas embolsadas y después de la semana 6 en el ensayo con macetas no embolsadas. En cambio, con las dosis de 10 y 15 g la infección tanto en macetas embolsadas como no embolsadas tiende a disminuir en las primeras semanas de tratamiento para aumentar en semanas posteriores, eliminándose por completo después de las semanas 4 y 5 en el ensayo de macetas embolsadas con dosis de 10 y 15 g respectivamente (Fig. 5A) y después de la semana 4 en el ensayo de macetas no embolsadas para estas dos dosis (Fig. 5B).

El aumento de la infección detectado en la semana 3 en el ensayo con macetas embolsadas y en las semanas 2 y 4 en el ensayo con macetas no embolsadas, es un comportamiento anómalo para el que no encontramos una explicación lógica salvo que en el momento del transplante a las macetas del tratamiento las condiciones ambientales fueran mejores que en tratamientos anteriores para el desarrollo del ToMV, teniendo en cuenta que el ensayo se realiza en invernadero y depende de la climatología o bien que hubiera tenido lugar una contaminación en el ensayo, hecho este factible dado el alto poder infectivo de este virus y su fácil transmisión mecánica.

Según los resultados obtenidos en el presente trabajo, se consigue eliminar la infección por ToMV en macetas y condiciones controladas a 25 °C después de la

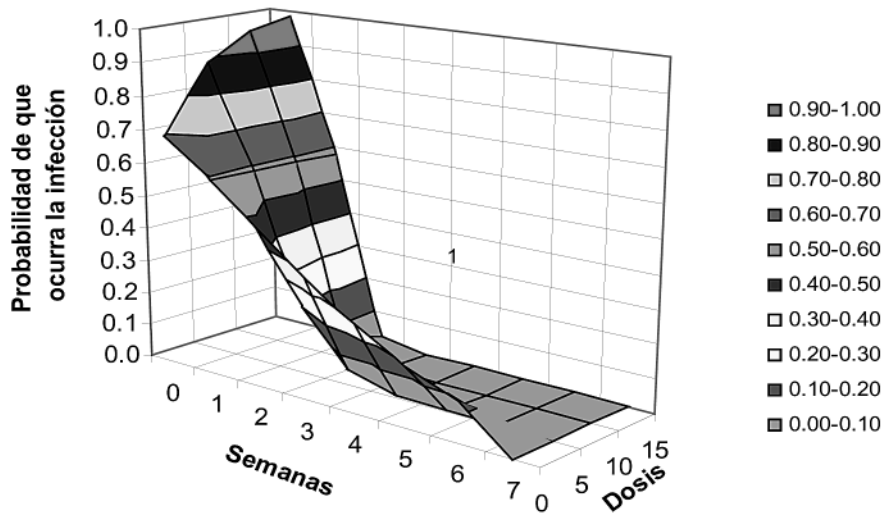


Figura 6: Probabilidad de que ocurra la infección por ToMV en función de la dosis y el número de semanas de tratamiento a 25°C.

semana 5 y 6 en macetas embolsadas y no embolsadas respectivamente. En el ensayo con macetas embolsadas se observa que la infección por ToMV se consigue eliminar antes cuanto menores sean las dosis empleadas, al contrario de lo que sucede en el ensayo con macetas no embolsadas.

La utilización de esta técnica de biofumigación en condiciones de campo, sería similar al ensayo de macetas no embolsadas lo que implicaría que la biofumigación debería realizarse durante un periodo entre 6 y 8 semanas, dependiendo del tipo de suelo para la eliminación del ToMV.

1. Resultados del análisis estadístico del ensayo de biofumigación en el control de ToMV en macetas en condiciones controladas

Los resultados obtenidos al analizar los datos del ensayo de biofumigación se ajustaron al método de *maximum likelihood estimates* mediante el test de Wald que determina los parámetros individuales con un nivel significativo del 95 %, observando que para las variables semanas y dosis existía una diferencia significativa de $P < 0,0001$. En cambio para los tratamientos de embolsado y no embolsado no existió diferencia significativa entre ellos ya que el valor de P fue 0,3925 ($> 0,05$). Los "odds ratio" obtenidos en este análisis para la variable semanas fue de 0,504 y para las dosis de 1,203; valores estos que están indicando que existe una mayor riesgo de infección según las dosis empleadas que la duración del tratamiento.

Como se puede observar en la compleja figura 6, en la semana 0 del ensayo de biofumigación la probabilidad de que ocurra la infección del ToMV es del 0,90-1,00 para las dosis de 10 y 15 g, en cambio para la dosis de 5 g esta probabilidad baja hasta valores del 0,7-0,8. El gráfico revela que la probabilidad de que ocurra la infección por ToMV va disminuyendo a medida que se aumentan las semanas de tratamiento para las tres dosis, resaltan-

do que para las dosis de 10 y 15 g la probabilidad ya es nula a partir de la semana 3, pero para la dosis de 5 g en esta semana de tratamiento aún persiste una probabilidad del 0,30-0,40. En las semanas 4, 5 y 6 la probabilidad es del 0,10-0,20 para alcanzar valores de infección del 0,00-0,10 en la semana 7. Existiendo una probabilidad casi nula a partir de la semana 6 de tratamiento, pudiendo afirmar que la infección por el ToMV queda controlada a partir de esta semana.

Biosolarización en el control de ToMV en macetas en condiciones controladas

Los resultados obtenidos tras someter las macetas con material infectado con ToMV a 45 °C durante periodos de tiempo establecidos entre 0 y 7 semanas, y a su vez repetidos en tres ocasiones, resultaron ser coincidentes. Estos resultados quedan recogidos en la figura 7, donde se puede observar que la biosolarización tiene efectos sobre el control del virus, ya que a medida que transcurren las semanas de tratamiento a 45°C el porcentaje de infección disminuye respecto a la semana 0. La infección se elimina por completo después de la semana 2 en el ensayo con macetas embolsadas y después de la semana 3 en el ensayo con macetas no embolsadas.

En cuanto a las dosis empleadas y como se muestra en la figura 7A del ensayo con macetas embolsadas, el porcentaje de infección en la semana 1 de tratamiento se mantiene estable para la dosis ensayada de 5 g, sin embargo disminuye un 50 % para dosis de 10 g y en un 75 % para dosis de 15 g. En la semana 2 de tratamiento se observa que el porcentaje de infección para dosis de 10 y 15 g ya es nulo, sin embargo cuando la dosis es 5g, la infección disminuye en un 50% respecto a la semana 0 y 1 de tratamiento, pero no se llega a eliminarse por completo hasta la semana 3. Hecho este que atribuimos a que no hay cantidad suficiente de materia orgánica para que se produzca la desinfección, pero sí para que

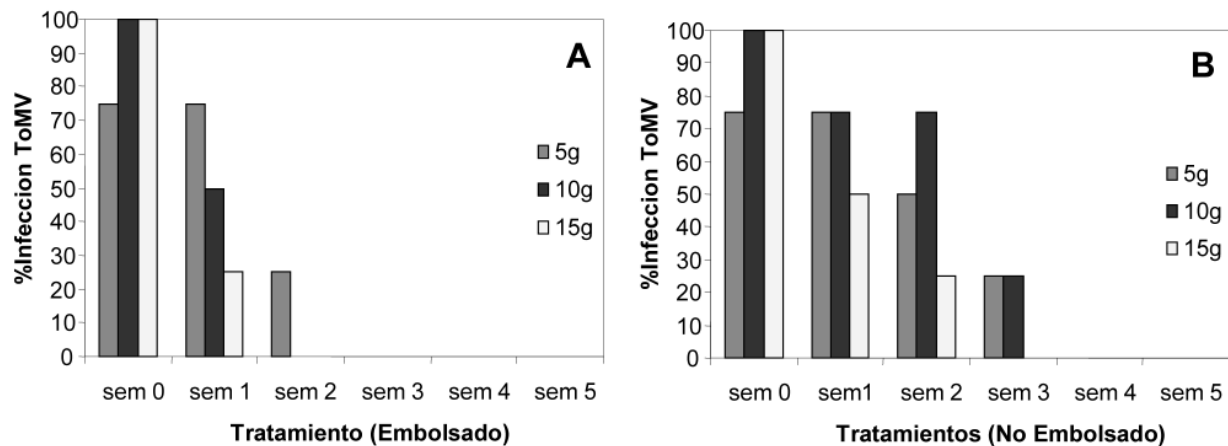


Figura 7: Control del ToMV a 45°C: A) macetas embolsadas (E) y B) macetas no embolsadas (NE).

se mantenga la infección, debiendo esperar en este caso una semana mas para que quede libre el sustrato del virus y se controle la infección.

La biosolarización a 45 °C en macetas no embolsadas (Fig. 7B) y para la dosis de 5 g se observa que el porcentaje de infección va disminuyendo a medida que transcurren las semanas de tratamiento, eliminándose por completo después de la semana 3. Para esta dosis de 5g en la semana 0 y 1 de tratamiento existe un porcentaje de infección del 75 %, en la semana 2 este porcentaje disminuye un 25 %, persistiendo una infección del 50 %, para la semana 3 el porcentaje de infección vuelve a disminuir en un 25 % con relación a la semana 2, persistiendo todavía un infección del 25 %; desapareciendo a partir de esta semana como ya se ha señalado anteriormente. Para la dosis de 10 g se observa que ya en la semana 1 de tratamiento el porcentaje de infección ya ha disminuido en un 25 % con respecto a la semana 0 (100 % de infección), porcentaje de infección que permanece constante hasta la semana 2 de tratamiento, pero que desciende bruscamente en un 50 % en la semana 3 con respecto a las semanas 1 y 2 hasta alcanzar niveles de infección del 25 %, para desaparecer por completo después de la semana 3 al igual que sucede con la dosis de 5 g. En cambio para la dosis de 15 g, es después de la semana 2 de tratamiento cuando se observa la desaparición por completo de la infección, resaltando que el porcentaje de infección disminuye en un 50 % ya en la semana 1 con respecto a la semana 0, seguido de un descenso de un 25 % en la semana 2 con respecto a la semana 1.

En este trabajo se consigue eliminar la infección del ToMV en macetas y condiciones controladas a 45 °C después de la semana 2 y 3 para macetas embolsadas y no embolsadas respectivamente. De acuerdo con los datos y en este caso de utilizar como técnica la biosolarización, el plazo de eliminación de la entidad viral del suelo se acorta a 2-3 semanas, es decir a la mitad con respecto a la biofumigación. Por razones de seguridad y para evitar posibles escapes del virus ToMV, consideraríamos aceptar para su aplicación práctica, sin riesgo,

cuatro semanas de tratamiento para las tres dosis estudiadas.

Los efectos de los tratamientos relacionados con la biodescomposición están considerados como la acción de las sustancias volátiles procedentes de la descomposición de los restos vegetales sobre los patógenos. En trabajos realizados por otros grupos de investigación, se ha demostrado la eliminación del ToMV durante el compostaje de restos vegetales donde se alcanzan más altas temperaturas pero no hay trabajos previos de la realización de este compostaje en el propio suelo. Se sugiere que la producción de sustancias tóxicas para el patógeno, originadas durante la rápida descomposición de los restos vegetales, sea responsable de la eliminación de los virus. Asimismo la fermentación de la materia orgánica provoca una modificación de la atmósfera del suelo incrementando el CO₂ y disminuyendo el O₂, dando lugar al fenómeno de anaerobiosis, consiguiendo de 90-100 % de reducción de patógenos. Sin embargo, Bello *et al.* (2003) afirman que la solarización en campo es eficaz cuando se combina con biofumigación (Biosolarización) durante 30 a 45 días a una temperatura ambiental superior a los 40 °C durante los meses de julio y agosto, que es cuando la temperatura del suelo alcanza incluso temperaturas superiores a los 50 °C, resultados estos que no habían sido confrontados para el caso del ToMV.

Comparando los resultados obtenidos en este trabajo con otros similares desarrollados por otros grupos de investigación en este trabajo sí se consigue controlar la infección del ToMV en macetas y condiciones controladas a 25 y 45 °C después de varias semanas de tratamiento tanto en ensayos con macetas embolsadas como no embolsadas. El embolsado de las macetas muestra una mayor efectividad del tratamiento tanto a 25 como a 45 °C, resultado lógico ya que evita la dispersión de los gases que se generan en el proceso de compostaje "in situ" que tiene lugar en las macetas. De forma menos eficiente, también se produce la desaparición del virus en las no embolsadas aunque tarda mas debido a que parte de dichos gases son liberados al exterior.

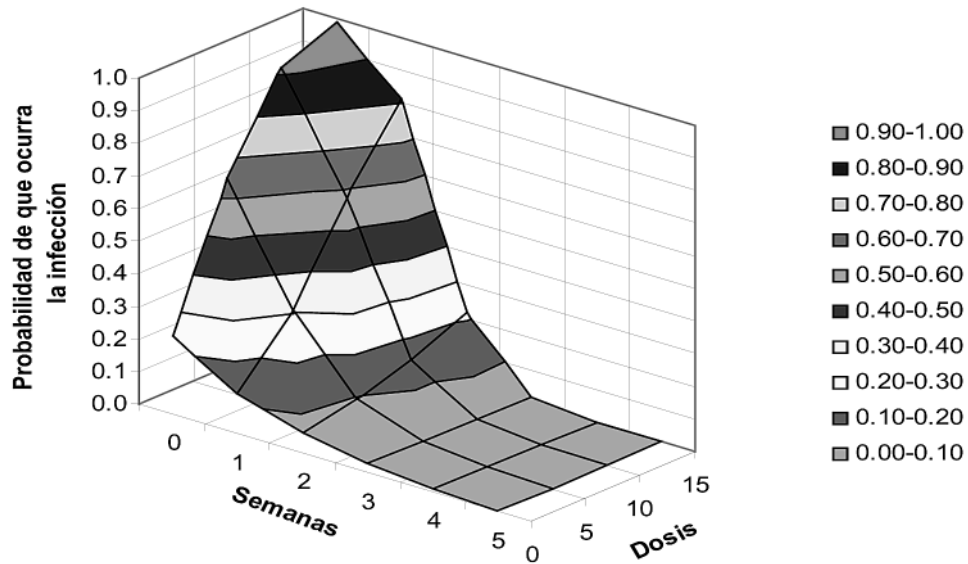


Figura 8: Probabilidad de que ocurra la infección por ToMV en función de la dosis y el número de semanas de tratamiento a 45°C.

1. Resultados del análisis estadístico del ensayo de biosolarización en el control de ToMV en macetas en condiciones controladas

Los resultados obtenidos al analizar los datos del ensayo de biosolarización se ajustaron al método de *maximum likelihood estimates* mediante el test de Wald que determina los parámetros individuales con un nivel significativo del 95 %, se obtuvo que para las variables semanas y dosis con una diferencia significativa de $P < 0.0001$. En cambio en los tratamientos de embolsado y no embolsado no se encontró diferencia significativa entre ellos ya que el valor de P fue 0,6121 ($> 0,05$). Los "odds ratio" obtenidos en este análisis para la variable semanas fueron de 0,171 y para las dosis de 1,235; valores estos que están indicando que existe un mayor riesgo de infección según las dosis empleadas que la duración del tratamiento.

Como se observa en la figura 8, la semana 0 del ensayo de biosolarización la probabilidad de que ocurra la infección del ToMV es del 0,90-1,00 para la dosis de 15 g, del 0,80-0,90 para la dosis de 10 g y del 0,70-0,80 para la dosis de 5 g; observándose que sin someter las macetas a ningún tipo de tratamiento térmico (semana 0), la probabilidad de que se presente la infección disminuye a medida que se emplean dosis de menor cantidad.

Al igual que sucede en el tratamiento de biofumigación, la probabilidad de que ocurra la infección por ToMV va disminuyendo a medida que transcurren las semanas de tratamiento para las tres dosis. Para las dosis de 10 y 15 g la probabilidad que se produzca la infección es del 0,00-0,01 después de la semana 2 de tratamiento, pero para la dosis de 5 g estos valores de probabilidad se alcanzan a partir de la semana 3, pudiendo asegurar que la infección por el ToMV queda controlada a partir de esta semana.

Los resultados del análisis de regresión logística múltiple para los ensayos de biofumigación y biosola-

rización muestran que existen diferencias significativas entre el número de semanas de tratamiento al que son sometidas las macetas y también para las dosis de material infectado empleadas en estos ensayos; pero no existen diferencias significativas entre el tratamiento de embolsado y no embolsado de las macetas. Este resultado difiere del obtenido en los apartados I en el caso de biofumigación y II en el caso de biosolarización, en los que se presentan los resultados expresados en porcentajes de infección y donde se pueden observar claras diferencias entre los tratamientos de embolsado y no embolsado, además de entre número de semanas de tratamiento y dosis empleadas. Esta contradicción aparente en los resultados obtenidos y los datos aportados por la estadística podría ser debido al bajo número de plantas empleadas en los ensayos (4 repeticiones por tratamiento) debido a las limitaciones de espacio y medios disponibles.

Biosolarización para el control de ToMV en mangas de fibra de coco en condiciones controladas.

La figura 9 muestra que los tratamientos de biosolarización sobre las mangas de fibra de coco en el control de ToMV tuvieron un efecto considerable en la disminu-

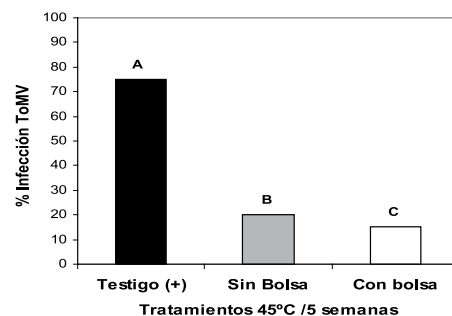


Figura 9: Control del ToMV en mangas de fibra de coco infectadas



Figura 10. Plantas de tomate crecidas en mangas de fibra de coco nuevas (derecha) y crecidas en mangas de un año, infectadas con ToMV y biosolarizadas (izquierda).

ción de la infección, sin embargo en la biosolarización de las mangas durante 5 semanas no se consiguió el control total de la infección por ToMV. Este descenso en el porcentaje de infección comparado con el obtenido en las mangas de fibra de coco no sometidas a ningún tipo de tratamiento (75 % de infección) fue del orden del 55 % por alcanzar un porcentaje de infección del 20 % en las mangas no embolsadas y un descenso del orden del 60 % por alcanzar porcentajes de infección del 15 % en el caso de las embolsadas (Fig. 9).

En función de estos resultados, la infección por ToMV no se llega a controlar totalmente, esto podría ser debido a que la fibra de coco es un sustrato inerte, lo que hace que la solarización no sea efectiva en la eliminación de fitopatógeno o bien que la concentración de raíces infectadas sea tan alta que resulta insuficiente el periodo ensayado. Periodos más largos de permanencia a 45 °C podrían dar mejores resultados en cuanto al control del virus.

En este ensayo se observó que las plantas de tomate variedad Marmande crecidas en mangas de fibra de coco no sometidas a ningún tipo de tratamiento (testigo positivo) presentaron una coloración verde oscura, un menor desarrollo y poco vigor; en cambio las plantas

crecidas en mangas embolsadas y no embolsadas sometidas a tratamiento térmico (45 °C) durante 5 semanas presentaron una coloración normal, mayor vigor y un desarrollo exuberante en comparación a las no tratadas. Este diferente comportamiento podría ser debido a que la materia orgánica que se aporta en forma de raíces a las mangas de fibra de coco en el primer año de cultivo mejoró considerablemente el desarrollo de la planta de tomate en su segundo año de uso y disminuir considerablemente el riesgo de la infección con ToMV. Las raíces de las mangas que constituyeron el testigo positivo, al no estar sometidas al proceso de biosolarización, no se descompusieron tanto como las biosolarizadas y por ello estas últimas ofrecieron un desarrollo y vigor mucho mayor además de la incidencia del virus sobre la planta desde un estadio temprano. Asimismo se observó un adelanto en la floración de las plantas de tomate crecidas en las mangas biosolarizadas. Este hecho podría ser un factor importante a tener en cuenta para planificaciones futuras relacionadas con la comercialización de los frutos.

Este mismo estudio se realizó en un invernadero de la zona de Monserrat en condiciones reales de campo obteniéndose resultados similares (datos no incluidos en

este trabajo). Las plantas crecidas sobre mangas de un año e infectadas con ToMV y biosolarizadas presentaban mayor vigor y un adelanto en la producción, siendo ésta mayor que en las no tratadas e incluso que en las mangas compradas en el año de uso (Fig. 10). Las nuevas mangas también presentaron infección por ToMV en un periodo corto de tiempo.

1. Resultados del análisis estadístico del ensayo de biosolarización en el control de ToMV mangas de fibra de coco

Las mangas de fibra de coco que fueron sometido a biosolarización por 5 semanas en el control de ToMV fueron analizados con una regresión logística simple, cuyos resultados tienen una distribución binomial, en el que los tratamientos, testigo (positivo), sin bolsa y con bolsa (Fig. 9). Se observaron diferencias estadísticas entre ellos al $P < 0,001$ de significancia.

Conclusiones

La biofumigación puede llegar a controlar ToMV en tratamientos superiores a 6 semanas.

La biosolarización es más eficiente en el control de ToMV en suelo ya que tan sólo 4 semanas de tratamiento son suficientes para controlar dicha infección.

La biosolarización de mangas de fibra de coco durante 5 semanas resulta insuficiente para el control total del ToMV, debiéndose probar periodos de tratamiento más prolongados.

Se observa un mejor desarrollo de las plantas crecidas en mangas biosolarizadas y un adelanto en su floración y producción, a pesar de presentar síntomas de su infección por ToMV.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto de investigación AGL2002-04040-C05-05 del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Referencias

- Aparicio V, Rodríguez MD, Gómez V, Sáenz E, Belda JE, Casado E, Lastres J. 1995. Plagas y enfermedades de los principales cultivos hortícola de la provincia de Almería: Control nacional. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.
- Aramburu J, Galipienso L. 2005. First report in Spain of a variant of Tomato mosaic virus (ToMV) overcoming the Tm-2² resistance gene in tomato (*Lycopersicon esculentum*). Plant Pathology 54: 566.
- Bello A, López JA, Sanz R, Escuer M, Herrero J. 2000. Biofumigation and organic amendments. En Methyl Bromide Alternatives for North African and Southern European Countries 26-29 May 1998, Rome. UNEP, pp. 113-141
- Bello A, López-Pérez JA. 2002. El bromuro de metilo como fumigante del suelo y sus alternativas en España. Phytoma 138: 112-114.
- Bello A, López-Pérez JA, García-Álvarez A, Díaz-Viruliche L. 2003. Biofumigación y control de los patógenos de las plantas. En Biofumigación en agricultura extensiva de regadío (Bello A, López-Pérez JA, García-Álvarez A, eds.). España: Fundación Ruralcaja Alicante: Mundi-Prensa, pp. 343-362.
- Bello A, Díaz-Rojo MA. 2004. Situación del Bromuro de metilo como fumigante del suelo en el año 2005. Usos críticos y alternativas en España. Phytoma 161: 20-25.
- Müller M, Reinhold M, Lange M, Zeise U, Jurgens, Hallier E. 1999. Photometric determination of human serum bromide levels – a convenient biomonitoring for methyl bromide exposure. In Proceedings of the International Symposium on Health Aspects of Environmental and Occupational Exposure, 28 September-1 October 1998 (Leng G, Hadnagy W, eds.). Dusseldorf, Germany, Toxicology Letters, pp. 155 – 159.
- Pérez C. 2001. El sistema estadístico SAS. Prentice Hall. España.
- Pérez C. 2002. Estadística aplicada a través de Excel. Pearson Educación. España.
- Rodríguez-Kábana R. 1997. "Alternatives to methyl bromide soil fumigation". In Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries, 9-12 April 1997 Arona, Tenerife, pp. 17-33.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 9.1 User' Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Stepleton JJ. 2000. Solarization in various agricultural production systems. Crop Protection 19: 837-841.
- Thomas W. 1997. Impacto ambiental de bromuro de metilo. En Alternativas al Bromuro de Metilo en Agricultura (Bello A, González JA, Pérez Parra J, Tello J, eds.). Junta Andalucía, Sevilla, España, pp. 13-18.

AGROECOLOGÍA

Información para los autores y política editorial

La revista de Agroecología editada por la Facultad de Biología de la Universidad de Murcia, a través del Servicio de Publicaciones de esta Universidad, en colaboración con la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE), publica en inglés o español, resultados de investigación en todos los campos de la Agroecología.

Agroecología acepta:

- artículos originales sobre temas agroecológicos.
- comunicaciones breves de hasta dos páginas manuscritas
- reseñas bibliográficas

Se editará un volumen anual distribuido en dos fascículos. Las fechas límites de recepción de manuscritos serán el 30 de marzo (fascículo 1) y 30 de septiembre (fascículo 2).

1. Extensión de los artículos

Los artículos no deben exceder 25 páginas impresas en DIN A4, a doble espacio y tamaño de letra 12. Como procesador de texto se utilizará preferentemente Microsoft Word.

2. Presentación de los manuscritos

La primera página de cada manuscrito debe contener:

Título del artículo, nombre de los autores y dirección, un título abreviado, el nombre, dirección, e-mail, teléfono y fax del autor responsable de la correspondencia y 3 a 7 palabras claves. Resumen, que no excederá de 250 palabras, en inglés y español.

Las siguientes secciones incluirán el contenido usual:

Introducción, Material y Métodos, Resultados, Discusión, Agradecimientos, Referencias (ver a continuación), Tablas (ver a continuación), Ilustraciones (ver a continuación), Leyendas (ver a continuación).

3. Tablas

Cada tabla (Tabla 1) debe ser presentada por separado, numerada y estará referida en el texto.

4. Figuras

Los dibujos (Fig. 1) pueden ser enviados como originales o como fotografías en blanco y negro bien contrastadas y de alta calidad. Se admiten figuras en color con cargo a los autores.

5. Fotografías y microfotografías

Deben ir numeradas secuencialmente con las figuras. Se debe incorporar una escala en el lugar que se estime apropiado. El autor debe utilizar sus propios símbolos, números y letras tanto para las figuras como para las fotografías. El nombre del autor/es del artículo y el número de la figura debe escribirse en el dorso de la misma.

6. Leyendas

Las leyendas de las tablas y figuras, convenientemente numeradas, deben escribirse todas juntas en páginas separadas del resto del artículo.

7. Referencias

Corresponderán únicamente a los trabajos, libros, etc., citados en el texto y se escribirán según el siguiente modelo:

a) Para artículos en revista

Toledo VM. 1992. What is Etnoecology?. *Etnoecológica* 1: 5-21.

Altieri MA, Letourneau DL. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1: 405-430.

De Cara M, Tello JC, Sánchez JA. 2004. Patógenos de origen telúrico que están presentes en los cultivos sin suelo. *Phytoma España* 158: 34-44.

Usar los nombres de las revistas completos, no en abreviación.

b) Para libros, tesis y otras publicaciones no periódicas

Guzmán Casado GI, González de Molina M, Sevilla E. 2000. *Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible*. Madrid: Mundi-Prensa.

c) Para artículos y capítulos de contribuciones en libros

Labrador J, Sarandón S. 2001. Aproximación a las bases del pensamiento agroecológico. En *Agroecología y Desarrollo* (Labrador J, Altieri MA, eds.). Madrid: Mundi-Prensa, 21-48 pp.

d) Los trabajos en prensa

Sólo se citarán si han sido formalmente aceptados para su publicación, su reseña se hará como sigue:

Nichols C. 2006. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat

para control biológico de plagas. Agroecología 1 (en prensa).

La lista bibliográfica de un trabajo se establecerá ordenando las referencias alfabéticamente por autores (y cronológicamente para un mismo autor, añadiendo las letras a, b, c, etc., a los trabajos del mismo año). En el texto, las referencias bibliográficas se harán de la manera usual: "según Labrador (2002)", "la seguridad alimentaria (Martín 2001)", "en trabajos recientes (Soriano 2006, Gozávez & Altés 2004)", etc. Se citarán los autores por su apellido cuando éstos sean uno o dos (Bello & López Pérez 2002), pero no cuando sean más de dos, empleándose entonces, la abreviación de et alii (Guzmán et al. 2000).

8. Unidades

Agroecología sigue el Sistema Internacional de Unidades (SI).

9. Abreviaturas

Las abreviaturas de uso no común deben ser explicadas.

10. Pruebas de imprenta

Cada autor recibirá una prueba de imprenta de su trabajo. El autor debe ajustarse a los plazos de devolución de las pruebas corregidas y evitar la introducción de modificaciones importantes al texto original. La corrección de pruebas deberá hacerse según pautas y símbolos internacionalmente admitidos, de los que se

adjuntará una muestra con las galeras. En las galeras corregidas se indicará (al margen) el lugar aproximado del texto en el que colocar las distintas figuras y tablas.

11. Separatas

De cada artículo se enviarán gratuitamente 25 ejemplares del separatum a los autores. El autor podrá negociar previamente con los editores la adquisición de un número suplementario.

12. Advertencia final

Los autores deben evitar rigurosamente el uso de negritas, mayúsculas, subrayados, etc., en la totalidad del manuscrito. Subrayar sólo los nombres científicos de géneros, especies, subespecies, etc.

13. Envío de los trabajos originales

Toda la correspondencia relativa a la publicación de artículos en Agroecología puede enviarse:

a) Por correo electrónico (e-mail) a la dirección: jmegea@um.es

b) Por envío postal (original y disquette o CD-ROM, con el texto, cuadros y figuras) a:

José M. Egea
Dpto. de Biología Vegetal (Botánica)
Facultad de Biología
Universidad de Murcia
Campus de Espinardo
30100 Murcia. España

AGROECOLOGÍA

Instructions for authors and editorial policy

Agroecology Journal is being edited by the Faculty of Biology of the University of Murcia (Spain), Publishing Service, in collaboration with the Spanish Society for Organic Farming (Sociedad Española de Agricultura Ecológica, SEAE). The contents are accepted research results from all fields of Agroecology, in English or Spanish.

Agroecology paper acceptance:

- original research papers on Agroecology
- short notes up to 2 printed pages
- book reviews

1. Size or length of papers documents

Papers should not exceed 25 printed pages in DIN A4, double space and word writing size 12. Text processing preferable will be Microsoft Word.

2. Organization of the manuscript

The first page of each manuscript should indicate:

The title, the author's names and affiliations, a short title to be used as running head, the name, address, e-mail, phone and fax number of the corresponding author and 3 to 7 key words. The Abstracts must not exceed 250 words.

The following sections covering the usual contents:

Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Acknowledgements, References (see below), Tables with figures (see below), Illustrations or graphics (see below), Legends (see below).

3. Tables

Each table (Table 1) should be typed on a separated sheet, numbered and should be referred to in the text.

4. Figures

Line drawings (Fig. 1) can either be submitted as original drawings ready to print or as clean and sharp glossy black and white photographs.

5. Photographs and microphotographs

Photographs should be numbered in sequence with the figures. A scale bar should be drawn where appropriate. Authors should use their own symbols, numbers and lettering to figures, including photographs. The author's name and the number of the

figure should be written on the back of each figure.

6. Legends

Legends of tables and figures conveniently numbered should be typed on a separate sheet and not written on the figures.

7. References

Should be restricted to books, papers, etc., cited in the paper, and should be presented according to the style shown below:

a) Articles from journals

Toledo VM. 1992. What is Etnoecology?. *Etnoecológica* 1:5-21.

Altieri MA, Letourneau DL. 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1:405-430.

De Cara M, Tello JC, Sánchez JA. 2004. Patógenos de origen telúrico que están presentes en los cultivos sin suelo. *Phytoma España* 158: 34-44.

b) Books, Theses and other sporadic publications

Guzmán Casado GI, González de Molina M, Sevilla E. 2000. *Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible*. Madrid: Mundi-Prensa.

c) Articles and chapters from books

Labrador J, Sarandón S. 2001. Aproximación a las bases del pensamiento agroecológico. En *Agroecología y Desarrollo* (Labrador J, Altieri MA, eds.). Madrid: Mundi-Prensa, 21-48 pp.

d) Papers in press

Should only be quoted if they have been accepted for publication, their quotation should be as follows:

Nichols C. 2006. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Agroecología* 1 (en prensa).

References must be given in alphabetical order of authors (and chronologically for the same author, adding the letters a, b, c, etc. for papers of the same year). In the text, references should be cited in the conventional manner: "according to Labrador (2002)"; "the energy saving (Margalef 1983)"; "in recent papers (Soriano 2006, Gozálviz & Altés 2004)", etc. Authors will be mentioned by their surnames (without initials) when they do not exceed two (Bello & López Pérez 2002) and by "et al." when more than two (Guzmán et al. 2000).

8. Units

Agroecology uses SI units (Système International d'Unités).

9. Abbreviations

Uncommon abbreviations should be explained.

10. Proofs

Authors will receive one set of proofs of their paper. Authors should obey the dead lines of the corrected proofs and should avoid introducing extensive modifications of the original text. Correction of proofs should be done according to international symbols and standards, an example of which will be enclosed with the galley-proof. The approximate place to insert figures and tables should be indicated on the corrected proofs.

11. Reprints

25 copies of the paper will be made available free of charge to the author(s); additional offprints may be obtained through previous negotiations with the Editors.

12. Final remark

Avoid bold, italic, capital letters, etc. in the manuscript, only underline scientific names of genus, species, subspecies, etc.

13. Envío de los trabajos originales

All the communication regarding articles and publication of the Agroecología Journal can be sent to:

c) Per e-mail to: jmegea@um.es

d) Per conventional Post (original and disquette o CD-ROM, with the text, tables and figures) to:

José M. Egea

Dpto. Biología Vegetal (Botánica)

Facultad de Biología

Universidad de Murcia

Campus de Espinardo, s/n

30100 Murcia. Spain

BOLETÍN DE SUSCRIPCIÓN, COMPRA O INTERCAMBIO (SUBSCRIPTION ORDER)

Enviar a (Send to):

Servicio de Publicaciones
Universidad de Murcia
C/. Actor Isidoro Máiquez. 9.
30007 MURCIA (España)
Tlfn.: 968 36 30 11 y 12 (Internacional: +34 968 36 30 12)
Fax: 968 36 34 14 (Internacional: 34 968 36 34 14)

1.- Suscripción:

Desde año:.....Número:..... inclusive.

2.- Números atrasados:

Desde año:.....Número:..... inclusive.

Forma de pago

- Talón o cheque bancario a nombre de Universidad de Murcia (Servicio de Publicaciones)
- Transferencia a la c/c nº 00496660702416026835 código de ingreso 5103C Banco de Santander.
C/.Trapería,5. 30001 Murcia (España)

Sólo para extranjeros

Si pagan mediante cheque bancario deberá ser en euros. Si trabajan con bancos extranjeros tendrán que añadir 9 €.

Precios de suscripción:

- Suscripción normal: 15 € + gastos de envío (foreign countries: 15 U.S. \$ + postage and packing cost.)
- Número atrasado (delayed number): 15 € + gastos de envío (15 U.S. \$ + postage and packing cost.)

Datos personales

Nombre y apellidos o razón social:

NIF. o CIF:

Calle/plaza:

Código postal:.....Ciudad:..... Provincia:.....

País:..... Tfno.:..... Fax:.....

Para intercambios

Enviar solicitud a: Universidad de Murcia. Biblioteca General. Intercambios. 30071 MURCIA.
Teléfono: 968 36 36 92 • Fax: 968 36 78 09 • e-mail: mdem@um.es

Publicación que se ofrece en intercambio (Título, dirección):

.....
.....
.....

