

El presente volumen recoge los textos que resultaron de los dos encuentros entre historiadores y técnicos sobre «Ciclo de nutrientes y Balances Hídricos en los Sistemas Agrarios. Una perspectiva Histórica», celebrados en junio de 1994 y 1995 en el Centro de Educación Ambiental del ICONA en Valsain (Segovia).

Los historiadores económicos que trabajan en temas agrarios tienen que manejar datos de rendimientos, precios, dosis de abonado... e ingresos y márgenes por hectárea, relativos a territorios diferentes y a distintos momentos del tiempo. La profesión de historiador se apoya, precisamente, en establecer comparaciones espacio-temporales de estos datos. El problema estriba en que la diferencia entre la naturaleza de los territorios y los sistemas cuyos datos parciales se intentan comparar pueden hacer engañosas o poco significativas las conclusiones que se extraigan de esta simple comparación. Interesa matizar esas comparaciones con información técnica sobre el funcionamiento de los sistemas agrarios y sobre características edafoclimáticas de los territorios a fin de saber si las diferencias de rendimientos se deben o no a razones técnicas y hasta qué punto las prácticas agrarias pueden paliar las limitaciones (o excesos) de un territorio. Habida cuenta que las prácticas agrarias adecuadas para un territorio pueden no serlo para otro, no cabe utilizar el mismo patrón tecnológico para enjuiciar el grado de modernidad, eficiencia y desarrollo en cualquier situación espacio-temporal. En este volumen se estudia la evolución de los patrones de fertilización en distintas áreas de la geografía peninsular.

ISBN 84-7774-974-4

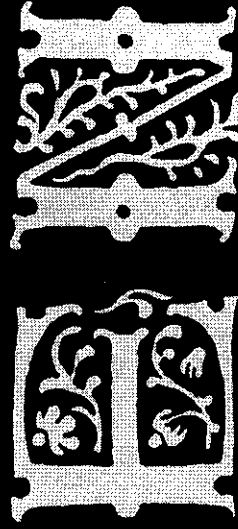


9 788477 749745



4

La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica



ECONOMÍA Y NATURALEZA

La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica

Ramón Garrabou y José Manuel Naredo (eds.)



FUNDACION
ARGENTARIA

VISOR
(distribuciones/sa)

RAMÓN GARRABOU
JOSÉ MANUEL NAREDO (EDS.)

LA FERTILIZACIÓN
EN LOS SISTEMAS AGRARIOS.
UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA

COLECCIÓN
ECONOMÍA Y NATURALEZA
SERIE «TEXTOS APLICADOS»

LA FERTILIZACIÓN EN LOS SISTEMAS AGRARIOS. UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA

BALBOA LÓPEZ, XESUS
CALVO CALVO, JUAN DE LA CRUZ
FERNÁNDEZ PRIETO, LOURENZO
GARRABOU SEGURA, RAMÓN
GASCO MONTES, JOSÉ MARÍA
GONZÁLEZ DE MOLINA, MANUEL
LÓPEZ ESTUDILLO, ANTONIO
LÓPEZ-GÁLVEZ, JOSÉ
MATEU TORTOSA, ENRIC
NAREDO PÉREZ, JOSÉ MANUEL
POULIQUEN, YANN
SAGUER, ENRIC

 FUNDACION
ARGENTARIA

VISOR
(distribuciones/sa)

ÍNDICE

PRESENTACIÓN. <i>Ramón Garrabou Segura y José Manuel Naredo Pérez</i>	9
Primera parte	
PROBLEMÁTICA GENERAL E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS	
SOBRE LA REPOSICIÓN NATURAL Y ARTIFICIAL DE AGUA Y DE NUTRIENTES EN LOS SISTEMAS AGRARIOS Y LAS DIFICULTADES QUE COMPORTA SU MEDICIÓN Y SEGUIMIENTO. <i>José Manuel Naredo Pérez</i>	17
PROBLEMAS Y PRÁCTICAS DIFERENCIADAS DEL CONTROL DE LA FERTILIDAD EN DISTINTAS ZONAS EDACOLIMÁTICAS. <i>José María Gascó Montes</i>	35
METODOLOGÍA PARA ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE AGUA Y NUTRIENTES DE LOS CULTIVOS BAJO INVERNADERO DE CLIMA PASIVO. <i>José López-Gálvez</i>	61
Segunda parte	
LA FERTILIZACIÓN EN LOS SISTEMAS AGRARIOS PENINSULARES	
MÉTODOS DE FERTILIZACIÓN EN LA AGRICULTURA CATALANA DURANTE LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XIX. UNA APROXIMACIÓN A LOS PROCESOS FÍSICOS DE REPOSICIÓN DE LA FERTILIDAD AGRÍCOLA. <i>Enric Saguer y Ramón Garrabou Segura</i>	89

Diseño portada: Aitor Méndez y Raquel de la Fuente

© Fundación Argentaria - Visor Dis., 1996

ISBN: 84-7774-974-4

Depósito Legal: M-32.125-1996

Visor Fotocomposición
Impreso en España - Printed in Spain
Gráficas Rógar. Navacarnero (Madrid)

DE LA AGRICULTURA ORGÁNICA TRADICIONAL A LA AGRICULTURA INDUSTRIAL: ¿UNA NECESIDAD ECOLÓGICA? SANTA FE, 1750-1904. <i>Manuel González de Molina Navarro y Yann Pouliquen</i>	127
EVOLUCIÓN DE LOS PROCESOS DE FERTILIZACIÓN TRADICIONAL EN CÓRDOBA. <i>Antonio López Estudillo</i>	171
EVOLUCIÓN DE LAS FORMAS DE FERTILIZACIÓN EN LA AGRICULTURA ATLÁNTICA ENTRE LOS SIGLOS XIX-XX. Del <i>taxo</i> a los fosfatos. <i>Xesús Balboa López y Lourenzo Fernández Prieto</i>	211
PRODUCCIÓN DE SUELO FÉRTIL EN LOS SISTEMAS ADEHESADOS. <i>Juan de la Cruz Calvo Calvo</i>	237
LA ELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ABONADO EN EL CULTIVO DEL ARROZ EN VALENCIA (1840-1930). <i>Enric Mateu Tortosa</i>	255
NOTA SOBRE LOS AUTORES	273

PRESENTACIÓN

Ramón Garrabou
 Universidad Autónoma de Barcelona
 José Manuel Naredo
 Fundación Argentina

Los historiadores económicos que trabajan en temas agrarios tienen que manejar datos de rendimientos, precios, dosis de abonado..., e ingresos y márgenes por hectárea, relativos a territorios diferentes y a distintos momentos de tiempo. La profesión de historiador se apoya precisamente en establecer comparaciones espacio-temporales de esos datos. El problema estriba en que la diferencia entre la naturaleza de los territorios y los sistemas cuyos datos parciales se intentan comparar pueden hacer engañosas o poco significativas las conclusiones que se extraigan de esa simple comparación. Interesa pues matizar esas comparaciones con información técnica sobre el funcionamiento de los sistemas agrarios y sobre características edafoclimáticas de los territorios (con sus posibilidades y limitaciones) a fin de saber, por ejemplo, si las diferencias de rendimientos se deben o no a razones técnicas y hasta qué punto las prácticas agrarias pueden paliar las limitaciones (o excesos) de un territorio. Habida cuenta que las prácticas agrarias adecuadas para un territorio pueden no serlo para otro, no cabe utilizar un mismo patrón tecnológico (generalmente el de los países industrializados que se sitúan al norte de los Pirineos) para enjuiciar el grado de modernidad, eficiencia y desarrollo en cualquier situación espacio-temporal a la luz de una serie de indicadores.

A pesar de la obviedad de estas observaciones con frecuencia han sido olvidadas por los estudiosos del cambio agrario en la España contemporánea. La historiografía se ha obsesionado por certificar la escasa difusión que tuvo en nuestro país el modelo tecnológico de la Europa atlántica sin tomar suficientemente en consideración las restricciones que imponía el medio natural.

Para facilitar el intercambio entre técnicos e historiadores interesados en el tema organizamos en junio de 1994 un primer seminario sobre la fertilización en los sistemas agrarios, que tuvo lugar en las instalaciones del

Centro Nacional de Educación Ambiental del ICONA en Valsain (Segovia), originando la primera versión de algunos de los trabajos que a continuación se presentan. La conveniencia de profundizar en algunos de los estudios y de acometer otros nuevos, nos indujo a convocar, para junio de 1995, un segundo seminario que se realizó con éxito, también en Valsain, permitiendo avances significativos en el tratamiento del tema. Los materiales que a continuación se presentan son fruto de estos dos encuentros y abren una línea de investigación poco transitada, que pretendemos mantener viva con el establecimiento de un secretariado permanente en el marco del Programa «Economía y Naturaleza» de la *Fundación Argentaria*. Estos materiales se han agrupado en dos partes. Una primera parte sobre la problemática general en la que se pasa revista a las apreciaciones y enfoques relativos al tema objeto de estudio y a los instrumentos de análisis que permiten cuantificar las exigencias en agua y nutrientes de los cultivos y la aportaciones de los distintos medios de fertilización. Y una segunda con estudios de casos.

Los estudios sobre distintas zonas del territorio peninsular que se presentan, ponen de manifiesto que en los sistemas agrarios «tradicionales» la reposición de la fertilidad se opera mediante formas complejas de gestión del territorio y sus recursos. En efecto, la documentación aportada evidencia que no cabe estudiar la fertilización de las parcelas de cultivo que se opera en los sistemas agrarios «tradicionales», sin considerar lo que ocurre con el resto del territorio. Ya que, normalmente, los terrenos no cultivados desempeñan el papel de «fábrica» de nutrientes, que se movilizan después, por procedimientos diversos, hacia las áreas cultivadas. Así, las prácticas agrarias «tradicionales» mantuvieron la intensidad de los labrantíos gracias al agua y la materia orgánica asociadas a la precipitación y la fotosíntesis de territorios más amplios, y a su movilización y canalización hacia los terrenos de cultivo a través del riego, el entarquinado (o fertilización mediante las avenidas), el uso de enmiendas orgánicas con hojarasca fermentada, el ramoneo, el redileo, el majadeo,... y el estercolado. A lo cual se añade la gestión de la propia superficie labrada mediante una rotación de cultivos y aprovechamientos acorde con dichos propósitos fertilizadores. Se observa así que la diversidad de vocaciones y usos agrarios del territorio se encuentra en la base de la reposición estable de la fertilidad propia de la agricultura tradicional. Diversidad y fertilidad que se apoyan mutuamente, bien mediante la movilización de los aprovechamientos agrarios en el territorio o bien mediante la movilización, por caminos diversos, de los nutrientes que se generan en las áreas no cultivadas, hacia las propias parcelas de cultivo.

El advenimiento de la fertilización química (y de la mecanización agraria), contribuyó a liberar el suelo de sus antiguas funciones fertilizadoras (y forrajeras) para acelerar las rotaciones en los anteriores terrenos de bos-

ques y pastos e intensificar los cultivos abandonando las antiguas rotaciones y barbechos. Esta intensificación y mayor grado de ocupación del territorio hizo gravitar la fertilización de los cultivos sobre la extracción de los depósitos minerales de la corteza terrestre y, muy particularmente, sobre los combustibles fósiles, originando a la vez problemas de escasez o agotamiento de recursos y de exceso de residuos, con incidencia negativa sobre la erosión y contaminación de suelos y aguas, pérdida de biodiversidad y deterioro del paisaje.

Los «avances tecnológicos» que posibilitaron el paso de los sistemas agrarios «tradicionales» a los «modernos», no están exentos de ambivalencia. Por una parte, han permitido intensificar el uso de las parcelas de cultivo e independizar su gestión del resto de los aprovechamientos agrarios. Pero por otra, han acentuado su dependencia de la extracción, elaboración y transporte a larga distancia de los stocks de ciertas sustancias contenidas en la corteza terrestre, desencadenando problemas de recursos y residuos que empujan a la agricultura, y a la propia sociedad industrial, hacia situaciones cada vez menos sostenibles.

Los estudios de casos que a continuación se presentan permiten apreciar las distintas implicaciones o modelos territoriales que conllevaban las formas «tradicionales» de reposición de la fertilidad en cada caso. La variedad observada en las relaciones entre las tierras cultivadas y el resto se agrupa en torno a tres modelos de fertilización y gestión del territorio. En uno el monte aparece segregado de las parcelas de cultivo, por condicionantes del medio físico o institucional, aportando directamente suelo o nutrientes, mediante el manejo de las *sorribas* (Canarias), el *tojo* (Galicia)... o los *formigues* (Cataluña), e indirectamente, junto con una interfase de pastos y aprovechamientos ganaderos que movilizan dichos nutrientes, mediante el estercolado, redileo, etc. Otro modelo sería el que trata de albergar y gestionar dentro de las propias fincas la diversidad de funciones y usos agro-silvo-pastorales que en el caso anterior abarcaba todo el territorio de la zona. Este sería el caso de las *dehesas* extremeñas o el del *cultivo al tercio* de la Campiña del Guadalquivir, en los que la fertilización de los cultivos se apoya en la alternancia con los aprovechamientos forestales y ganaderos y en los períodos de descanso de la tierra. Un tercer modelo vendría dado por el predominio de las avenidas de agua como factor de irrigación y fertilización (mediante los *arrastres* y *entarquinados*) y estaría configurado territorialmente por la cuenca hidrográfica correspondiente. Siendo el caso de la cuenca del Nilo el ejemplo histórico más importante y conocido de este modelo territorial de fertilización (interrumpido hoy con la gran presa de Assuan) y el cultivo del arroz en la cuenca del Júcar el que mejor se ajusta a este modelo entre los casos que se estudian a continuación. Sin embargo, llama la atención que frente a la tradicional diversidad de prácticas fertilizadoras y usos del territorio que denotan los casos estudiados, el avance de

la moderna «agricultura química» impone en todos ellos una uniformidad digna de ser subrayada. Por ello ha de quedar claro que no es posible enjuiciar certeramente el amplio y diverso panorama de los sistemas agrarios «tradicionales» desde la uniformidad de los «modernos» y, menos aún, aplicar a aquellos las «funciones de producción» concebidas para éstos.

Consideramos que hasta fechas recientes el análisis de los sistemas de fertilización constituye uno de los elementos relevantes del cambio agrario. Debido a las posibilidades limitadas de aprovisionarse de materias fertilizadoras del exterior del sector, la reposición de nutrientes dependía en buena medida de un eficiente aprovechamiento de la potencialidad de un determinado territorio para producir materia vegetal que podía ser reciclada directamente o utilizando como convertidor el ganado. A través del estudio de casos se ha podido comprobar los variados, complejos y con frecuencia perfeccionados procedimientos utilizados por los agricultores de las distintas áreas peninsulares para obtener los abonos necesarios para mantener e incrementar los rendimientos.

A pesar de los esfuerzos realizados para mejorar los sistemas de fertilización, los resultados obtenidos fueron mediocres en comparación con los niveles de productividad alcanzados en otras zonas europeas. Esta conclusión a la que llegan buena parte de los estudios de casos que se publican en este volumen, no hace más que confirmar el supuesto atraso de la agricultura española. Sin embargo en muchos de estos trabajos se hacen propuestas interpretativas novedosas en la medida que se destaca y se ponen en un primer plano las restricciones que imponía el medio natural para introducir y difundir el modelo de la revolución agrícola de la Europa atlántica. En efecto, el elemento clave de esta revolución fue la introducción de leguminosas forrajeras y raíces en las alternativas de cultivo, por su capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico y alimentar al ganado, pero las condiciones naturales de gran parte del territorio peninsular imponían serios impedimentos a su implantación generalizada. Si esta argumentación es sostenible resultan imprescindibles otras propuestas interpretativas sobre el cambio agrario en la España contemporánea que presten mayor atención de la que se ha dedicado hasta ahora al factor medio ambiente.

Centrar la atención, como se ha hecho en la mayor parte de estudios presentados, en los procesos físico-biológicos que están en la base de cualquier sistema agrario puede desembocar en reduccionismos y simplificaciones o conducirnos a determinismos groseros. Sin duda estos peligros existen. Con todos, hemos optado por centrarnos de forma exclusiva en los ciclos de nutrientes en relación con las condiciones naturales de cada zona, por considerar, por un lado, la necesidad de cualquier disciplina científica de centrar la atención en el análisis de una parcela de una realidad mucho más amplia y compleja y por otro, que, dada la superficialidad con que la historia agraria reciente ha tratado estos temas, sólo mediante un análisis

sistemático de los mismos se conseguirá que ocupen el lugar que debe corresponderles en los modelos interpretativos sobre el cambio agrario en la España contemporánea.

Conocer de forma más precisa la potencialidad y los límites de un determinado territorio para la aplicación de un patrón tecnológico concreto no significa disponer de una información definitiva que explique de forma satisfactoria la evolución de la producción agraria. En realidad con estos datos, en el mejor de los casos, sólo hemos conseguido dibujar el escenario donde actúan unos hombres, organizados en clases que disponen de experiencias y conocimientos y cuentan con instituciones económico-sociales y estos factores suelen ser decisivos para explicar la dinámica de la producción agraria.

En consecuencia las investigaciones futuras deberían ser capaces de elaborar modelos más complejos en los que al lado de un análisis más preciso del medio físico y de las formas de ordenación de complejo territorial, se examine atentamente el manejo del sistema agrario y de modo especial el marco sociodemográfico, precisando las formas de propiedad y de tenencia, el tipo de poblamiento así como el destino de las producciones.

Así, las reflexiones sobre la fertilización en los sistemas agrarios suscitadas por los dos seminarios indicados, permiten extraer algunas conclusiones de índole más general. Las principales conclusiones (e indirectamente, recomendaciones) que cabe extraer de estos encuentros son que los estudios sobre sistemas agrarios «tradicionales», para que sean comparables entre sí y con los sistemas «modernos», han de encuadrar tales sistemas haciendo referencia a las siguientes *coordenadas* de análisis:

1. **Medio físico:** indicando, al menos sumariamente, las características ecológicas o ambientales del territorio en el que se ubica el sistema agrario estudiado, subrayando cuales son sus orientaciones productivas, sus factores limitantes y su posible evolución (erosión, salinización...).
2. **Marco socio-demográfico:** precisando la propiedad y los regímenes de tenencia de las fincas, la densidad de población y el tipo de poblamiento, la mano de obra utilizada... así como el destino de las producciones.
3. **Sistema agrario:** describiendo el manejo del sistema agrario (labores, calendarios y rotaciones de cultivos) e interpretando, aunque sólo sea a título hipotético, su funcionamiento físico plasmado en sus correspondientes flujos y balances de materiales y energía (y, por ende, de agua y de nutrientes) y su dependencia de fuentes o actividades externas.
4. **Ordenación del complejo territorial:** mostrando la dependencia que observan en cada sistema agrario las tierras de cultivo con el resto del territorio (con sus aprovechamientos ganaderos, forestales, mineros o urbanos industriales y con sus reservorios de biodiversidad comúnmente calificados de «improductivos»).

PRIMERA PARTE

PROBLEMÁTICA GENERAL
E INSTRUMENTOS DE ANÁLISIS

SOBRE LA REPOSICIÓN NATURAL Y ARTIFICIAL DE AGUA Y DE NUTRIENTES EN LOS SISTEMAS AGRARIOS Y LAS DIFICULTADES QUE COMPORTA SU MEDICIÓN Y SEGUIMIENTO

José Manuel Naredo
Fundación Argentaria

I. Consideraciones metodológicas

Cualquiera que haya trabajado sobre sistemas agrarios «tradicionales» e historiado su paso hacia los «modernos», es fácil que haya sentido la insatisfacción que produce la falta de datos e instrumental analítico para reconstruir el completo funcionamiento físico de los sistemas, a fin de apoyar con verdadero conocimiento (cuantitativo) de causa las interpretaciones, juicios y comparaciones que sobre tales sistemas ha de avanzar la investigación histórica. Insatisfacción que se agrava cuando a las carencias mencionadas se añade a veces una sobredosis de elaboraciones numéricas relativas a producciones, precios, rentas y demás elementos constitutivos de la misma idea usual de sistema económico, que pueden ser útiles para analizar la evolución temporal de los resultados de un sistema agrario, pero no la naturaleza de los cambios o rupturas que se producen en el mismo.

Cuando los cambios son tan radicales como los que acompañan el paso de los sistemas agrarios «tradicionales» a los «modernos», nos encontramos con que el aparato conceptual de esa idea ordinaria (y atemporal) de sistema económico resulta insuficiente para interpretarlos. Como también lo son los esquematismos del balance de nutrientes que propios de la agronomía. Porque, además, existe un factor adicional de distorsión: el propio cambio de sistema modifica el peso y la función que los elementos considerados tienen en el mismo. En efecto, mientras en los sistemas «tradicionales» los agricultores trataban de colaborar con la Madre-Tierra para el engrandecimiento de algunos de sus frutos, en los «modernos» intentan obtener éstos contando lo menos posible con aquélla. Lo cual supone que mientras en los sistemas agrarios «tradicionales» la «naturaleza» reponía en ciclo cerrado la mayoría de los «inputs» o medios de fertilización, tracción,

semillas, etc., empleados, en los sistemas «modernos» se tienden a comprar los medios de producción y a vender los productos, equiparándose con las plantas industriales. Esta equiparación culmina en el caso de la ganadería sin suelo y de la agricultura hidropónica (en las que se compra todo lo que entra en el proceso, salvo el oxígeno, el CO₂ y la energía solar y sus derivados). En estos casos existe un solapamiento mucho mayor entre la versión física y la monetaria de las entradas de medios de producción y las salidas de productos (aunque no de residuos, que, por definición, carecen de valor). Vemos, pues, que el cambio tecnológico operado desde los sistemas «tradicionales» a los «modernos» presupone, entre otras cosas, un cambio notable en la intersección entre la representación física y la monetaria de los procesos o, si se quiere, entre el conjunto de lo físico y aquel de lo económico, pasando desde la práctica disjunción hasta la amplia intersección de ambos conjuntos. Ni qué decir tiene que el potencial de interpretación que ofrece la imagen que en el mundo físico proyecta la versión monetaria de los sistemas agrarios varía bastante a lo largo del proceso de «modernización» (o monetarización) indicado, disminuyendo a medida que nos alejamos hacia el pasado. La única manera de controlar este problema pasa por modelizar el funcionamiento físico de los sistemas agrarios con independencia de que su proyección económico-mercantil sea más o menos acusada. Y para ello debemos orientar la búsqueda del aparato conceptual hacia la ecología (y las ciencias de la naturaleza por ella utilizadas) más bien que hacia la actual economía académica, de la que los historiadores han sido hasta ahora excesivamente tributarios. Precisamente este Seminario apunta a enriquecer la interpretación histórica de los sistemas agrarios al recaer sobre ellos no sólo desde esa economía académica *standard*, sino también desde la ecología y la agronomía, propiciando una convergencia de enfoques que permita superar las carencias antes mencionadas. Para que esta convergencia sea fructífera los planteamientos económicos deben romper su habitual aislamiento para erigirse en punto de «encuentro transdisciplinar» capaz de derribar la Torre de Babel de las especialidades científicas» (J. M. Naredo, 1987). Sin embargo, para que tal cosa ocurra no sólo los planteamientos económicos han de adoptar esquemas multidimensionales y abiertos (que trasciendan la versión ordinaria de la función de producción que habitualmente ofrecen los manuales de economía), sino que también los planteamientos agronómicos han de ir más allá de la aproximación simplista del *balance* de nutrientes a la que suelen circunscribirse. Pues la visión agronómica del *balance* y la economía de la *función de producción*, conectan formalmente y comulgan de un mismo esquematismo mecanicista que se revela impropio para estudiar el funcionamiento y la evolución de sistemas biológicos tan complejos como son los agrarios.

El dogma interpretativo del *balance* de nutrientes se impuso a principios del siglo XIX en agronomía, tras los trabajos de Saussure, Liebig y

Boussingault (vid. F. Dagognet, 1973), como aplicación a este campo del principio de *conservación* propio del enfoque mecanicista que, por aquel entonces, orientaba el quehacer científico. Los animales y las plantas eran considerados así como convertidores mecánicos cuyas exigencias «alimenticias» interesaba conocer, para potenciar sus aptitudes productivas paliando las posibles carencias del medio, que actuaban como factores «limitantes» o frenos a la producción. Armados con el aparato conceptual instaurado por Laviosier como base de la química moderna y contando con una analítica cada vez más afinada, se trataba de cifrar el balance entre las entradas que abastecían la «máquina» vegetal y sus salidas productivas, al igual que la partida doble lo venía haciendo para los ingresos y los gastos monetarios. La combustión de la materia vegetal fresca permitía analizar en las cenizas resultantes las sales extraídas por la cosecha, soslayando la problemática complejidad de los intercambios de la planta con la atmósfera y el suelo (referidos básicamente al carbono, al hidrógeno y al oxígeno que, junto con el agua, componen cerca del 99% del peso fresco de los vegetales).

La extremada simplificación que supuso centrar el análisis en sustancias que representan sólo el 1% de los materiales cosechados, encontró el apoyo empírico necesario para salir adelante en el hecho de que la escasez de sales propias de las zonas de clima húmedo frío, convertía ese 1% en el verdadero «factor limitante» de la agricultura de los países situados al norte de los Pirineos. Sin embargo, la mucha mayor diversidad (y complejidad) de suelos, climas, especies y ecosistemas propia de los países mediterráneos, recorta el potencial explicativo de trasladar tales esquematismos a la agricultura de estos países: por contraposición a los países norteyuropeos, el exceso de sales y la escasez de agua constituyen a menudo el principal problema al que ha de enfrentarse la agricultura mediterránea.

Por tanto, no sólo interesa ampliar y reconsiderar la propia noción de balance atendiendo a cada problemática, sino subrayar que ni la planta es un convertidor inerte, ni el suelo un simple reservorio, sino que ambos interactúan y son capaces de reaccionar modificando su comportamiento. Por ejemplo, la aplicación de dosis importantes de abono nitrogenado inhibe la función nitrificadora de las bacterias del suelo, lo mismo que la disposición del agua y los nutrientes condiciona el desarrollo del sistema radicular de las plantas. En suma, que se impone la necesidad de estudiar no sólo el balance de lo que entra y lo que sale en el sistema agrario, sino también lo que ocurre o podría ocurrir dentro y fuera del mismo, alterando la relación planta, suelo, ambiente.

En lo que concierne a la «función de producción» que normalmente se utiliza en los manuales de economía, hay que advertir que (además de ser en su versión más común inadecuada para representar el proceso de producción agraria —cfr. N. Georgescu Roegen, 1978—) no permite analizar el

funcionamiento interno y la incidencia externa (sobre el «medio ambiente») de los procesos de producción ni, en general, enjuiciar la naturaleza de los cambios tecnológicos y la estabilidad y viabilidad de los sistemas resultantes. Como ya indiqué en otras ocasiones (*vid.* J. M. Naredo, 1987; J. M. Naredo y J. López-Gálvez, 1994), la usual desatención del análisis económico, tanto hacia lo que ocurre «dentro» del proceso productivo como hacia las relaciones con su «medio ambiente», es la consecuencia lógica de la representación que normalmente se hace en teoría económica de dicho proceso mediante un vector $(P, a, b, c, \dots)$, que nos relaciona a través de una función $p=f(a, b, c, \dots)$, las cantidades de producto (P) con las cantidades de factores $(a, b, c, \dots)$. Se practica así un recorte implícito importante al representar el proceso de producción mediante una forma particular de función —la denominada en matemáticas *función punto*, representable en un espacio euclidiano—, dando a entender que no existen otras posibilidades de expresar matemáticamente dicho proceso.

La función de producción así expresada viene a ofrecernos una información comparable, no tanto a la de una receta de cocina —como dice algún manual conocido— como a la lista de ingredientes que suele figurar encima de ella en los libros de cocina: para obtener un bizcocho, se requiere: un huevo, dos tazas de leche, etc. Entre las limitaciones que se deriva de representar un proceso mediante una lista de ingredientes monetizables que entran y salen en el mismo, cabe destacar las siguientes: 1.º La decisión de identificar un proceso por sus límites, indicando las unidades que entran y salen de ellos, nos lleva implícitamente a renunciar a describir lo que pasa dentro y fuera de esos límites, con lo que los cambios de tecnología y de escala aparecen como meros problemas cuantitativos o de agregación o suma, sin detectar cambios cualitativos en el comportamiento y la viabilidad del sistema, ni nuevos problemas que merezcan ser investigados. 2.º Al establecer que el proceso de entradas y salidas empieza en t_0 y termina en t_1 normalmente hacemos abstracción de lo que ocurre antes de t_0 y después de t_1 . 3.º Al registrar sólo los elementos que son objeto de valoración monetaria se hace abstracción de los otros elementos físicos que entran en el proceso en forma de recursos y salen del mismo en forma de residuos. 4.º Por último, no hay que descartar que al razonar sobre una lista determinada de ingredientes se olvida a veces que no tiene por qué ser la única, ni la más eficiente para obtener el producto deseado.

En lo que sigue trataremos de razonar sobre un *catálogo de posibles «reetas»* con todos sus «ingredientes», incluidos los residuos. Hay que advertir que este catálogo trascendería la función punto antes mencionada y no correspondería ya a un espacio euclídeo: este catálogo daría lugar a lo que en matemáticas se denomina una ecuación funcional, cuya expresión geométrica habría que buscarla en un espacio abstracto opuesto al euclidiano.

Ya que en este caso la representación del proceso de producción vendría dada por una colección de funciones punto (que constituiría la ecuación funcional antes mencionada) y por una colección de vectores de cantidades en vez de por un solo vector.

En el caso de los sistemas agrarios, el desconocimiento de su comportamiento físico suele dificultar o dañar la solvencia de los intentos de interpretación histórica. Como indicamos, la información física disponible se limita comúnmente a aquellos «inputs» y producciones que son objeto de transacción mercantil, permaneciendo en la sombra el resto de los procesos (que en los sistemas «tradicionales» comprenderían lo fundamental del ciclo de agua y de nutrientes). Los sistemas agrarios aparecen así hoy, y con mayor razón en el pasado, como una especie de caja negra en la que se introducen determinados «inputs» monetizables y se obtiene, sin saber muy bien cómo, un producto vendible. Sin embargo, para analizar la eficiencia técnico-económica de un sistema de producción cualquiera es necesario conocer mínimamente su funcionamiento físico, sus posibilidades y limitaciones e interpretar así con solvencia su devenir histórico, es necesario conocer mínimamente su funcionamiento físico investigando para ello dentro y fuera de esa «caja negra». Entiendo que el propósito de este seminario pasa por abrir la mencionada «caja negra» para ver cómo resuelven los sistemas agrarios sus exigencias de agua y de nutrientes.

II. Sobre las distintas formas de reposición del agua y los nutrientes en los sistemas agrarios y su cuantificación

La ecología utiliza hoy día los términos *producción y producto neto* para designar la materia (medida normalmente en peso seco) bruta o neta que fijan los ecosistemas a través de la fotosíntesis en un tiempo determinado. Esta *producción o producto neto* tiene lugar en los ecosistemas naturales sin necesidad de que el hombre intervenga para nada. La energía solar mueve por sí sola los flujos de agua y de nutrientes como el agua la rueda de un molino. Las sociedades humanas recolectoras y cazadoras han vivido desde siempre apropiándose una parte de estas *producciones* de la Madre-Tierra sin intervenir en su generación. La historia de la agricultura arranca con el afán humano de orientar y propiciar esas «creaciones» de la Madre-Tierra, tratando de incidir sobre ellas, primero de forma más bien ritual, después de forma pretendidamente experimental. Primero, tratando de colaborar con la naturaleza; después, buscando sustituirla con el ánimo de controlar mejor los procesos y, como hemos anticipado, los sistemas agrarios «tradicionales» se encuentran a caballo entre uno y otro extremo.

Así las cosas, no tiene nada de extraño que los economistas franceses del siglo XVIII, hoy llamados «fisiócratas», estuvieran interesados en los logros experimentales de la joven agronomía y opinaran por boca del marqués de Mirabeau, su divulgador más prestigioso, que la agricultura era «una manufatura de institución divina, en la que el fabricante tiene como socio al Autor de la naturaleza, al Productor mismo de todos los bienes y de todas las riquezas» (*Philosophie Rurale*, 1763). Pero esta idea de que es la Naturaleza, o Dios, quien alimenta a la agricultura, presente todavía en autores del XIX, acabó muriendo por obra y gracia del mecanicismo entonces dominante en todos los campos del saber. «El mito de la máquina como *creadora* de riqueza se extendió hasta concebir a la propia naturaleza como una máquina ya construida hace tiempo y, por tanto, gratuita, conforme a la idea enunciada por Descartes de que todo cuanto existe, excepto la mente humana, es una máquina que el hombre puede manejar a su antojo» (J. M. Naredo, 1987). La naturaleza pasó así de ser considerada como un gran organismo que debería ser objeto de admiración, respeto y colaboración, a ser tomada como un simple almacén de materiales y potencial de fuerzas a explotar.

La agronomía, tras una situación de transición en el XVIII en la que todavía pervivían las viejas ideas organicistas, derivó de modo irrefrenable hacia el mecanicismo, desde los trabajos de Théodore de Saussure, de Boussingault..., hasta los de Liebig y Sachs. La conocida polémica entre Liebig y Boussingault constituye un episodio notable en esta evolución. El hecho de que el error, hoy manifiesto, de Liebig de afirmar que el *humus* no contribuía en nada más que en ofrecer el nitrógeno, el fósforo y el potasio reclamados por la planta, saliera triunfante respecto a la posición contraria de Boussingault, denota lo favorable que le fue el contexto: el suelo fértil quedaba simplificado a los tres componentes químicos activos mencionados y el problema de la alimentación de las plantas podía resolverse de forma mecánica aplicando la ley del mínimo. Ese medio complejo que es el suelo fértil, en el que conviven microorganismos con materia orgánica en distinto grado de descomposición y con sustancias minerales de índole diversa, aparecía reducido, en lo referente a la alimentación de las plantas, a un mero depósito de nutrientes y representado por un triángulo en cuyos lados se registraban las cantidades de *N*, *P*, *K*, contenidas o aportadas. El paso siguiente fue el dado por Sachs: en vez de ver lo que hay que echar a la tierra para favorecer el crecimiento de las plantas testigo, éstas se instalan ahora en un suelo totalmente artificial (fabricado ex profeso para conocer su composición con exactitud) y un ambiente controlado, para reducir la ambigüedad de las experiencias. De esta manera se fue rompiendo paulatinamente la relación del proceso agrario con el medio natural y se fue desplazando lo fundamental de las experiencias desde el campo hacia los laboratorios, para desplegar allí sin problemas el enfoque analítico-parcelario

recomendado por Descartes como apoyo eficiente a su epistemología mecanicista.

Nos encontramos así con que primero predominó durante milenios un tipo de agricultura y de reflexión que atribuía a la Madre-Tierra el papel fundamental de «fábrica» espontánea de los nutrientes requeridos por las plantas, para desembocar desde hace poco más de un siglo en la idea de que el agricultor debe «reponer» artificialmente los nutrientes que las plantas han utilizado, estimando que si no lo hace el suelo se empobrecerá irremediablemente. Siendo la ley de mínimos ya mencionada el instrumento básico a tener en cuenta para esta gestión, a fin de suplir con prontitud cualquier carencia que pudiera intervenir como «factor limitante» de la producción. De esta manera se ha acabado por aportar artificialmente muchos más nutrientes y agua de los «extraídos» por la planta, originando graves problemas de contaminación por lixiviación de fertilizantes.

El problema estriba en que la agronomía no sólo desarrolló sus investigaciones y recomendaciones sobre la base del enfoque mecanicista antes mencionado, sino que sigue todavía siendo, en buena medida, tributaria del mismo. Sólo así se explica que aún no se haya estudiado con precisión el papel del suelo fértil como «fábrica» espontánea de nutrientes que explica que se hayan podido generalizar las prácticas de cultivo durante milenios, sin «reponer» artificialmente los nutrientes extraídos por las cosechas, y sin que desapareciera el suelo fértil. Pues es una constante generalmente reconocida que en la agricultura «tradicional» los nutrientes expresamente aportados en forma de estiércol y abonos, no cubrían los extraídos por las cosechas. Así lo llegó a calcular, por ejemplo, en el caso del olivar (J. M. Naredo, 1983) al observar que, en el cultivo «tradicional» realizado en el valle del Guadalquivir, se solían estercolar anualmente sólo superficies que oscilan entre 1/8 y 1/3 de la plantación con dosis comprendidas respectivamente entre 12 y 5.000 kilos de estiércol por hectárea, mientras que la «reposición» de los nutrientes extraídos por la cosecha hubiera exigido dosis de entre 4.500 y 5.000 kilos por hectárea. A un cálculo similar se llega con los datos del libro de Fernández Latorre (A. Fernández Latorre, 1927) en el que se estima que una cosecha de 1.800 kilos de aceituna por hectárea (20 kilos por árbol, en marco de 90 árboles por hectárea) la plantación «saca» del suelo 24 Kg. de nitrógeno, 7 Kg. de ácido fosfórico y 26 Kg. de potasa, por lo que harían falta 4.800 Kg. por Ha. del estiércol de riqueza media aplicado en mis cálculos antes mencionados, para reponer el nitrógeno, 4.300 para reponer la potasa y 1.750 para reponer el fósforo.

Aunque con motivo de la citada investigación sobre el olivar sugerí algunas ideas intuitivas sobre cómo podía funcionar el ciclo de nutrientes en ese cultivo, recuerdo mi frustración al no encontrar en la literatura una respuesta satisfactoria sobre el tema. Creo que ya va siendo hora de que la agronomía explique con claridad y precisión por qué se han mantenido es-

tablemente sistemas agrarios «tradicionales» sin que el estiércol y los abonos expresamente «aportados» por el hombre cubrieran de modo sistemático los nutrientes «extraídos» por las cosechas y creo que incentivar esta búsqueda es un propósito de este seminario. Avancemos algunas explicaciones más generales para orientar esa búsqueda y provocar matizaciones y respuestas por los técnicos que participen en el encuentro.

En primer lugar, hay que recordar que las experiencias actuales de la llamada agricultura «biológica», «ecológica» u «orgánica», que trata de evitar el empleo de medios químicos de fertilización y tratamiento, pueden ser de utilidad para comprender mejor el funcionamiento del ciclo de nutrientes en los sistemas de agricultura «tradicional». El caso más coocido es el del nitrógeno. Este es un elemento que, siendo un componente esencial en la biosfera, es abundante en la atmósfera, pero escaso en la litosfera. Por lo que la forma generalizada y estable de «reponer» en los suelos el nitrógeno «extraído» por las plantas, viene realizada por la actividad espontánea y gratuita de determinadas bacterias que se dedican a captar el nitrógeno atmosférico para fijarlo en los suelos. De ahí que estas bacterias puedan aportar sin menoscabo en los rendimientos del cultivo (en un suelo con *humus*) el nitrógeno que el hombre tendría que facilitar directamente en un suelo artificial o en un cultivo hidropónico. Y de ahí que existan patrones de abonado que al calcularse ignorando la posible función nitrificadora de las bacterias (que se inhibe al aportar nitrógeno a los suelos) recomienden la aplicación de nitrógeno en dosis que podrían ser innecesarias en suelos con suficiente materia orgánica y vida bacteriana. La Tesis Doctoral de López-Gálvez (J. López-Gálvez, 1988) atestigua esta cuestión en el caso del cultivo de judía verde de mara baja. Así, el estercolado de los suelos no sólo aporta nitrógeno, sino que activa la «fabricación natural» del mismo que se opera en los suelos, permitiendo que el nitrógeno contenido en el estiércol aplicado se mantenga sistemáticamente por debajo del demandado por el cultivo, como vimos en el caso del olivar antes mencionado. Vemos, pues, que se puede obtener el mismo producto con «recetas» de producción distintas que conllevan sistemas de manejo del suelo diferentes.

Sin embargo, lo que está claro en el caso de ciclo del nitrógeno, quizá no lo esté tanto, al menos para mí, en lo que concierne a la reposición de los otros elementos (que, evidentemente, no pueden captarse de la atmósfera). En cualquier caso, hay que tener presente que el suelo húmico, lejos de ser una simple reserva inerte de nutrientes, viene a contener unas 25 toneladas de vida orgánica por hectárea (P. Matile, 1973) y a establecer complejas relaciones con las plantas. Al decir de este autor, «el sistema suelo-vegetal constituye un complejo organismo cuyas funciones metabólicas se distribuyen, tanto en los órganos de la planta como en las diferentes poblaciones de organismo del suelo. Los organismos del suelo se revelan como órganos auxiliares de la planta, que sólo en circunstancias excepcionales

—como las micorrizas o nódulos bacterianos de las leguminosas— se unen a la planta de forma visible». Los intentos del enfoque analítico-parcelario de simplificar el sistema y estudiar sus partes separadamente, abandonaron así el estudio de los caminos más complejos por los que se cerraba el ciclo de nutrientes en los sistemas agrarios «tradicionales» (o por los que se pretenden cerrar en la actual «agricultura biológica»).

Una vez aclarado el tema de la reposición de un elemento del suelo tan masivamente demandado por las plantas como el nitrógeno, la respuesta que dan los técnicos de la «agricultura biológica» relativa a los otros elementos es la siguiente: aunque no se puedan captar de la atmósfera, estos elementos suelen existir en el suelo en cantidades muy superiores a las requeridas por las plantas; el problema estriba en que se encuentran formando rocas y minerales que no son asimilables por las plantas, por lo que la función de la materia orgánica y de los organismos y microorganismos del suelo consiste en hacerlos adoptar formas asimilables. Ante la pregunta de cómo la agricultura orgánica (ya sea «tradicional» o «biológica») aportando muchos menos fertilizantes que la «química» conserva mejor la fertilidad de los suelos, Arman (K. Arman, 1983) afirma que «la respuesta es que tenemos que apreciar que la tierra contiene los elementos en dos formas diferentes: una, original, estable y fija, y otra, soluble en agua y, por tanto, asimilable por las plantas y accesible a los análisis químicos del suelo. En la primera forma, los elementos se encuentran en enormes cantidades en comparación con las necesidades de los cultivos y, en general, de un modo uniforme hasta grandes profundidades. Por término medio, la capa cultivable de una hectárea contiene en esta forma fija de 6 a 12 toneladas de nitrógeno, de 5 a 10 de fósforo, de 10 a 20 de potasio y de 1 a 3 toneladas de microelementos, como cobre, magnesio, manganeso, etc. En general, un cultivo necesita para su desarrollo solamente una pequeña proporción de estas cantidades y los frutos vendibles contienen menos de la mitad de esta proporción. Por eso, lo que hace falta es que a través de los procesos digestivos del suelo se transmitan pequeñas cantidades de las reservas que hay en él hacia formas asimilables por las plantas. Este proceso normalmente es llevado a cabo por insectos, lombrices y microorganismos, razón por la cual se trata de un proceso natural que se puede reforzar o detener con los medios que se utilizan en el cultivo, tanto en forma de abonos y tratamientos como en forma de laboreo. Los abonos químicos y otros productos químicos tienen una influencia desfavorable en estos procesos, mientras que los abonos orgánicos y la ausencia de tratamientos químicos aumentan la cantidad de microorganismos y otros seres vivos del suelo que ejercen las funciones antes indicadas. En esta circunstancia se tiene que buscar la explicación de los éxitos duraderos, pero enigmáticos, de la agricultura orgánica». Lo cual podría explicar el hecho de que los productos de la agricultura «orgánica» suelen tener mayor riqueza en microelementos que los de la agricultura convencional (H. Vogtmann, 1983). Por ejemplo, los

análisis del contenido de una muestra de productos de la agricultura «ecológica» frente a los convencionales que se encontraban al alcance del consumidor madrileño que encargué cuando era subdirector de Estudios del Banco de Crédito Agrícola (BCA), mostraron que los primeros tenían bastante más contenido en hierro, lo cual me sorprendió habida cuenta que el hierro es un elemento abundante en la mayoría de los suelos: surgió entonces la explicación de que por muy abundante que sea el hierro, requiere normalmente de la intervención de unos quelatos (asociados a la materia orgánica de los suelos) para ser asimilable por las plantas (BCA, 1991).

Intentaremos arrojar alguna luz más sobre este «enigma» con algunos datos adicionales contenidos en el cuadro adjunto. Este cuadro ofrece información cuantitativa de una colección de «recetas» de producción encaminadas a obtener un mismo producto: tomate vs. «Daniela». El cultivo se desarrolló durante 1992-1993 en un mismo invernadero pasivo de bajo coste en la Estación Experimental «Las Palmerillas» (Almería), con el fin de analizar cómo variaban las exigencias en el manejo del agua y los nutrientes según se utilizaran distintos tipos de suelo o de sustrato. La experiencia comparó el cultivo en suelo «enarenado» usual en el litoral almeriense, frente al cultivo en cuatro tipos de sustratos (S1, S2, S3, S4) fabricados industrialmente a base de «perlita» y de «arena de roca» que se comercializan normalmente en la zona (sobre el detalle y los resultados de esta experiencia *vid.* J. López-Gálvez y J. M. Naredo, 1996). Las mediciones llevadas a cabo a lo largo de la experiencia permitieron cuantificar la colección de «recetas» de producción antes mencionada, correspondiente a una familia de funciones de producción cuyas marcadas diferencias responden exclusivamente al distinto tipo de suelo o sustrato empleado, ya que, como hemos visto, se refieren a la misma zona, campaña, cultivo, invernadero, etcétera.

El cuadro adjunto tiene así la virtud de evidenciar, con mediciones de primera mano de las que tan escasos andamos, las notables variaciones que observa la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes para abastecer las necesidades de la planta según el tipo de suelo empleado. En el cuadro destaca la mayor eficiencia del cultivo en suelo «enarenado» frente a los cultivos en sustratos carentes de materia orgánica (también llamados cultivos «sin suelo»). Otra información importante que se deriva de esta experiencia es que, al cerrar el balance de nutrientes, se observa que la fertilización «aportada» en los sustratos multiplica por dos y por tres la «extraída» por la cosecha, mientras que en el cultivo en suelo enarenado es inferior a la «extraída» en 600 kilos por hectárea de elementos puros, que difícilmente podría cubrir la aplicación de 100 toneladas de estiércol por hectárea cada tres años que se suele aplicar en este sistema (en la publicación de referencia [1]. López-Gálvez y J. M. Naredo, 1996) la medición de las extracciones de las plantas y de los fertilizantes lixiviados permite establecer los balances de nutrientes y compararlos con los contenidos en el estiércol). De esta mane-

ra aflora inusitadamente de nuevo, en este caso de agricultura muy capitalizada e intensiva (pero, sin embargo, bastante «orgánica»), el rasgo propio de la agricultura «tradicional», en la que los nutrientes aportados por el hombre a penas llegan a cubrir los extraídos por la cosecha, sin que ello redunde en obligado detrimento de la fertilidad del suelo. Lo que nos subraya de nuevo el interés de esclarecer el «enigma» del suelo como «fábrica» de nutrientes, precisando en cada caso cuáles son sus posibilidades y sus límites.

Precisamente, no podemos acabar este apartado sin recordar que la clave de la estabilidad o «sostenibilidad», diríamos hoy, de los sistemas agrarios «tradicionales» ha reposado en su adaptación a estos límites, marcados por las características del suelo y el clima de cada zona. Adaptación que se apoyó tanto en la selección de los cultivos y aprovechamientos como en las prácticas agrarias aplicadas. Así, en zonas de clima húmedo, en las que no se agotaba la reserva de humedad de los suelos durante el verano, un cereal de primavera como el maíz pudo erigirse en cultivo dominante aprovechando la mayor insolación disponible en esa estación. Lo mismo que en las zonas de clima xérico o mediterráneo, en las que la sequía estival agotaba esta reserva, se extendió la civilización del trigo y otros cereales de invierno cuya cosecha se recogía antes de que culminara el estrés hídrico veraniego. Y que en las zonas de clima monzónico se extendió la civilización del arroz, aprovechando los encharcamientos estacionales que en ellas se producían. En segundo lugar, tanto el marco de plantación como las rotaciones de cultivos o la transhumancia, se ajustaban a las limitaciones edafoclimáticas de los territorios. Como, también, las prácticas de cultivo, es decir, el abonado en verde contribuían de forma más o menos afortunada a paliar las limitaciones del medio. Por ejemplo, en zonas de clima húmedo, en las que el agua que aportaban las precipitaciones superaba el gasto en evapotranspiración de las plantas, originando el encharcamiento de los suelos, el drenaje o «sancamiento» fue la práctica más extendida para facilitar la escorrentía y posibilitar así la agricultura, lo mismo que en las zonas con problemas de aridez los trabajos de preparación del terreno apuntaron mayoritariamente, por el contrario, a reducir la escorrentía mediante obras de aterrazamiento, laboreo del suelo tendiente a romper su costra superficial..., o, como se hacía en Canarias, tratando de condensar más gotas de agua al paso de las nubes bajas clavando una ramita de brezo al lado de cada semilla plantada, por no hablar de las prácticas de «mulching», «paillage» o acolchado de suelos con picón, arena..., paja y estiércol o turba, según los casos, para conservar el agua o la temperatura de los mismos a la vez que se mantenía su aireación. La ingente tarea que le queda para hacer a la historia de los sistemas agrarios que estamos definiendo pasa, primero, por descubrir e inventariar todas estas prácticas tradicionales, para analizar después experimentalmente su función como técnicas eficientes o como rituales carentes de sentido práctico.

Advertamos, por último, en lo referente al ciclo hidrológico y a las necesidades de evapotranspiración de las plantas, que la teoría quizá esté aquí más elaborada, firme y completa que en lo relativo al ciclo de nutrientes: no parece que exista ningún «enigma» como el del papel del suelo en la fabricación de nutrientes. Las controversias se cerraron hace tiempo (C. Solís, 1990), aunque en nuestro país quedan amplias lagunas de conocimiento motivadas por la falta de datos empíricos referentes a nuestro territorio y a los sistemas agrarios que lo pueblan (J. M. Naredo y J. López-Gálvez, 1994).

FLUJOS FÍSICOS ANUALES EN VARIOS SISTEMAS DE CULTIVO DE TOMATE (10³ kg/ha) Campaña 1993-1994

	E	S1	S2	S3	S4
Entradas:					
Agua (A)	3.571	9.220	7.865	8.496	7.385
Fertilizantes (F)	3,2	17,6	15,0	16,2	14,0
Sustrato (S)*	-	1,7	3,7	6,2	9,7
Estrécol (E)**	33,3	-	-	-	-
Arena (AR)***	160	-	-	-	-
Salidas:					
Cosecha (C)	171,1	186,2	189,9	199,6	192,4
Residuos:					
Agua (A)	300	2.770	1.844	2.569	2.727
Fertilizantes (F)	0,6	10,4	7,8	8,1	6,8
Sustrato (S)*	-	1,7	3,7	6,2	9,7
Ratio de eficiencia:					
- g de cosecha por l de agua	51,1	20,3	24,3	23,7	26,3
- kg de cosecha por g de fertilizante	54,0	10,6	12,7	12,4	13,7
Ratios de contaminación:					
- l de agua lixiviada por kg de cosecha	1,8	14,9	9,7	12,9	14,2
- g de fertilizante lixiviado por kg de cosecha	3,5	55,7	41,37	40,5	35,4
- g de sustrato desechado por kg de cosecha	-	9,1	19,5	31,1	50,4
- mg de residuo (F) por l de agua lixiviada	2,0	3,7	4,3	3,1	2,5

E = Suelo enarenado. S1 = Sustrato Clase 1. S2 = Sustrato Clase 2. S3 = Sustrato Clase 3. S4 = Sustrato Clase 4.

* Como la vida de los sustratos es de dos años, se ha calculado el flujo anual suponiendo que cada año entra y sale la mitad.

** Como la operación de retranqueo (aportación de estrécol) debe realizarse cada tres años, se ha tomado como flujo anual un tercio del estrécol aplicado.

*** Como se estima en diez años la vida útil de la arena del anarenado, se ha calculado el flujo anual dividiendo por diez la arena aportada.

Fuente: J. López-Gálvez y J. M. Naredo (1996), *Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos*, Fundación Argenteria y Visor Dis., Madrid.

III. Sobre la evolución de las consideraciones globales acerca del ciclo de nutrientes en la agricultura y de su relación con las ciudades

Es cosa sabida que originariamente, de acuerdo con las viejas mitologías, se consideraba que las producciones agrarias, al igual que los demás procesos de generación, eran fruto de un maridaje entre la Madre-Tierra y las potencias celestes (*vid.* J. M. Naredo, 1987, caps. 3 y 8). «La tierra concibe por el sol y de él queda preñada, dando a luz todos los años», señalaba Coopérnico en su obra cumbre *De revolutionibus*, recogiendo la misma idea ya expresada por Aristóteles de su *De animalibus*, que resultaba coherente con la visión organicista del mundo entonces dominante (tan inmejorablemente descrita por Platón en su *Timeo*). De esta manera, las labores agrícolas debutaron en la historia de la humanidad como prácticas rituales tendientes a propiciar esa unión entre el cielo y la tierra y a acrecentar así sus frutos. Y en los albores de la agronomía como ciencia experimental, se mantenía esta actitud de respeto y colaboración con la naturaleza, que se extendió durante ese siglo que va desde la publicación de los *Principia* de Newton en 1687 hasta la del *Traité élémentaire de chimie* de Lavoisier en 1789, es decir, en ese período de transición en el que se solapó el auge de la filosofía mecanicista con la pervivencia de las ideas alquímicas.

Pero una vez abandonadas las ideas creacionistas arcaicas y aceptado con generalidad tanto por la mecánica como por la química el principio de conservación de la energía y la materia, autores como Boussingault, Mulder y Liebig fundaron la química agrícola sobre estos principios, utilizando para ello el balance de nutrientes como instrumento básico de razonamiento tanto teórico como aplicado.

Dicho esto quiero subrayar aquí que, todavía a mediados del siglo pasado, ni siquiera el más reputado padre de la química agrícola y de la propia agricultura química, Justus von Liebig, creía que la humanidad podría generalizar un progreso duradero de la agricultura de otra manera que no fuera cerrando el ciclo de nutrientes mediante el aprovechamiento de los residuos orgánicos de las ciudades. En efecto, en la primera parte, dedicada al proceso de nutrición vegetal, de su libro básico *La química aplicada a la agricultura y a la fisiología* (J. von Liebig, 1840), tras indicar que el crecimiento «anormal» de la población europea se había apoyado en una serie de circunstancias «fortuitas», como el descubrimiento y explotación de los yacimientos de guano y la extensión del cultivo de la patata, advertía que, a su juicio, «la población no podrá mantener ese nivel de crecimiento, si no cambia el modo de explotación actual, a no ser que se cumplan dos condiciones: 1.^a Que por un milagro divino los campos recobran la fecundidad que les ha arrebatado la estulticia y la ignorancia. 2.^a Que se descubran depósitos de guano o de abonos de una extensión comparable a las de las minas de carbón. Ninguna persona razonable —continuaba a renglón segui-

do— considera probable o posible la realización de estas condiciones... La introducción de los *water-closets* en las ciudades inglesas acarrea el resultado de que las condiciones para la reproducción de las sustancias necesarias para la nutrición de tres millones y medio de habitantes sean irreparablemente perdidas: la mayor parte de la enorme cantidad de abonos que importa Inglaterra todos los años se va por los ríos al mar, mientras que los productos con ellos creados no alcanzan para alimentar la sobredimensionada población. Y lo que es peor, esta destrucción se produce en todos los países europeos, aunque en menor medida que en Inglaterra... De la solución que se dé al problema de los desechos de las ciudades dependerá —concluye Liebig— el mantenimiento de la riqueza, el bienestar de los Estados y el progreso de la cultura y de la civilización».

Recordemos que durante todo el siglo XIX se mantuvieron en Europa dos maneras contrapuestas de enfocar y de resolver el problema de los residuos orgánicos de las ciudades. En Inglaterra, los movimientos que trabajaban en favor de las condiciones de vida de los pobres y de la salubridad de las ciudades, espoleados por las epidemias de cólera asiático que se cobraron en Londres decenas de miles de muertos en 1849 y 1853-54 (W. H. McNeil, 1984) habían adoptado entre otros *estándares* el de conseguir un WC por familia (J. M. Naredo, 1991) y «no menos de seis comisiones parlamentarias habían sido creadas entre 1848 y 1855 para mejorar las alcantarillas de Londres» (a fin de que pudieran asumir la extensión de este artefacto)..., veinte años después, los ingenieros británicos se habían convertido en líderes mundiales del cálculo, diseño, mantenimiento y ventilación de alcantarillas para una población cuyo consumo *per capita* de agua había alcanzado los niveles que sólo igualaría París varias generaciones más tarde» (I. Illich, 1989). El más destacado promotor de estas ideas fue el reformador utilitarista Edwin Chadwick, que había ideado en 1840 el plan que más tarde tuvo la oportunidad de aplicar como director de la Junta Central de Salud (1848-1854). Conviene matizar que, aunque su plan se realizó en lo que al alcantarillado concierne, no ocurrió lo mismo en lo relativo a la reutilización agraria de los residuos orgánicos, aspecto este también considerado en el mismo. En efecto, esta parte del proyecto inicial de Chadwick «fracasó, ya que no pudo llegar a acuerdos financieros satisfactorios para que los desechos fueran vendidos como fertilizantes satisfactorios a los granjeros. El motivo era que los agricultores podían disponer de guano de Chile y el Perú y de fertilizantes sintetizados artificialmente de uso más cómodo que todo lo que Chadwick pudiera hacer con los desechos. La solución práctica fue verter las nuevas cañerías del alcantarillado en los cauces de agua disponibles, a menudo con desagradables resultados. El desarrollo de métodos eficaces para procesar los desechos, para que los efluvios fueran inofensivos, tardó otro medio siglo y la instalación de tales plantas a gran escala tuvo que esperar hasta bien entrado el siglo XX, incluso en las ciudades más próspe-

ras y debidamente administradas» (W. H. McNeil, 1984). El nuevo sistema de abastecimiento de agua y eliminación de desechos a través del WC y el alcantarillado se acabó extendiendo por todo el mundo occidental y la mayor parte de sus antiguas colonias, con la excepción más notable de los países asiáticos, en los que la tradicional reutilización de los excrementos se ha permanecido vigente.

Sin embargo, Francia se resistió largo tiempo a adoptar el modelo inglés. En 1835 un decreto del Instituto de Francia rechazó la propuesta de generalizar en París el WC y de canalizar los residuos al Sena, argumentando que sería absurdo enviar al desagüe los residuos orgánicos de los caballos y los habitantes de la ciudad, que alcanzaban un notable valor económico al ser masivamente reutilizados en los numerosos huertos urbanos y periurbanos existentes. El propio *Journal de chimie médicale* de París mantenía esta misma posición veinte años más tarde, en parte apoyada por la eficiencia de estos huertos, que llegaron a producir unos 50 Kg. de frutas, hortalizas y legumbres *per capita* y a ocupar unas 6,5 personas por hectárea, a la vez que el estercolado masivo, el empleo de la técnica del *paillage* y el uso de abrigos e invernaderos, permitía la obtención de varias cosechas al año (G. Stanhill, 1977). De esta manera, como nos recuerda Illich (*ibidem*), «la pretensión de Kropotkin enunciada en 1899 de que París podía abastecer a Londres de verduras no era en modo alguno insensata». E incluso que, ya implantado el ferrocarril, se propusiera la conveniencia de utilizar este medio de transporte para que París enviara sus desechos orgánicos hacia zonas agrarias alejadas, compensando así su condición de importador neto de alimentos y forrajes con la de exportador de residuos fertilizadores.

Valga lo anterior para advertir que todavía en el filo del siglo XX tenía bastante peso la idea de que el progreso duradero de la agricultura dependía de que se pudiera cerrar el ciclo de nutrientes devolviendo a los campos la materia orgánica que de ellos había salido. Así lo atestigua la obra clásica de Karl Kautsky, *La cuestión agraria. Estudio sobre las tendencias de la agricultura moderna*, editada en alemán en 1898 y en francés en 1990 (K. Kautsky, 1990). En ella este autor hace suya la posición indicada, divulgando las consideraciones de Liebig antes mencionadas. Como es bien sabido, este punto de vista perdió por completo su vigencia en el mundo occidental, sobre todo a raíz de los logros de la industria química en la obtención de fertilizantes observados tras la segunda guerra mundial en el marco de la llamada «revolución verde».

Sin embargo, cuando la preocupación por lo limitado de los yacimientos de «guano», presente en Liebig, se vio desplazada con el uso de los productos petrolíferos en la fabricación de fertilizantes sintéticos, surgieron nuevas preocupaciones relacionadas con los dobles efectos negativos originados por la «mineralización» de los suelos y la contaminación de las aguas derivadas del uso de fertilizantes en la agricultura y por el vertido de

los residuos de las ciudades. Cuando en el horizonte del siglo XXI la mayor parte de la población mundial está llamada a habitar en ciudades, resurgen corregidas y ampliadas las objeciones que hace un siglo Liebig, Kautsky y otros autores de la época, ponían al modelo londinense de mejorar la salubridad urbana, subrayando el falso paso tecnológico que ha supuesto su extensión (que todavía no alcanza plenamente a los países más populosos de Asia). Pues, como concluye Margalef en su libro *La biosfera* (R. Margalef, 1980), el modelo de gestión que han seguido las modernas megalópolis se asemeja a «la lógica de los *copépodos*», cuya generalización a escala planetaria origina manifestos problemas de inestabilidad, al no cerrar los ciclos de materiales en contra del proceder normal de la biosfera que la hizo ganar en extensión y en diversidad. Los *copépodos* son unos crustáceos muy simples que viven y se alimentan de algas en la zona fótica o superficial de las aguas, pero que envían sus defecaciones a aguas profundas, al envolver sus *detritus* en pequeñas membranas que impiden su dilución en las aguas superficiales en las que se nutren. El modelo de gestión que mejoró la salubridad urbana facilitando el enorme crecimiento de las ciudades, como ocurre en el caso de los *copépodos*, tampoco cierra en flujo de nutrientes, es decir, no utiliza sus propios *detritus* para acelerar los procesos de los que se nutre. Con lo cual el aumento de los asentamientos de población que se guían por este patrón de comportamiento, tiene que apoyarse en la apropiación, y simplificación, de los recursos de territorios cada vez más amplios y alejados y en la utilización de otros como sumidero, con el consiguiente deterioro del conjunto.

De ahí que no tenga nada de extraño que, cuando la problemática indicada alcanza dimensiones planetarias, el *Libro verde del medio ambiente urbano* elaborado por la Comisión de la Unión Europea, trascienda la ya centenaria y localizada preocupación por mejorar las condiciones de vida en las ciudades, para poner coto al deterioro global que se observa, buscando establecer relaciones más equilibradas de las ciudades con su entorno rural (J. M. Naredo, 1991). En otras palabras, que el propósito hoy de moda de hacer que la especie humana se apoye sobre bases económicas más «sostenibles», induce a preocuparse no sólo de mejorar el medio ambiente urbano a base de tirar de la cadena de los WC y de enviar lejos los residuos, sino también a preocuparse de nuevo por superar la lógica de los *copépodos* arriba mencionada, buscando la manera de cerrar el ciclo de materiales, en general, y de nutrientes y materia orgánica en particular. Tema este que tiene especial importancia en nuestro país, al predominar las zonas áridas con penuria de agua y de materia orgánica en los suelos, a diferencia de lo ocurrido en los países situados al norte de los Pirineos (a los que el modelo londinense se adaptaba mucho mejor al abundar en ellos el agua y la materia orgánica en los suelos).

Bibliografía

- ARMAN, K. (1983): «Una agricultura alternativa», *Agricultura y Sociedad*, n.º 26.
- BANCO DE CRÉDITO AGRÍCOLA (1991), Subdirección de Estudios: «Sobre la relación calidad-precio de los productos "ecológicos"», *La agricultura ecológica*, Cuadernos del BCA, n.º 3.
- DAGOGNET, F. (1973): *Des révolutions vertes. Histoire et principes de l'agro-nomie*, Hermann, París.
- FERNÁNDEZ-LATORRE, A. (1927): *El cultivo del olivo en la provincia de Sevilla*, Sevilla.
- GEORGESECU-ROEGEN, N. (1978): «Process in farming versus process in manufacturing», *Energy and economic myths. Institutional and analytical essays*, Pergamon, Nueva York.
- ILLICH, I. (1989): *H₂O y las aguas del olvido*, Ed. Cátedra, Madrid.
- KAUTSKY, K. (1900): *La question agraire. Etude sur les tendances de l'agriculture moderne*, V. Girard & Brière, París (reproducción facsímil de Maspero).
- LÓPEZ-GÁLVEZ, J. (1998): *Productividad de la judía verde sobre enarenado bajo invernadero en Almería*, en FIAPA.
- LÓPEZ-GÁLVEZ, J., y NAREDO, J. M. (1996): *Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos*, Fundación Argentaria y Visor Dis., Madrid.
- MATILE, P. (1973): «Environmental problems and agriculture», *Wasser u. Awasser*, julio 1973, supplement.
- MCNEIL, W. (1984): *Plagas y pueblos*, Siglo XXI, Madrid.
- MIRABEAU (1958): «Philosophie rurale», cap. VII, en *François Quesnay et la Physiocratie*, INED, París.
- NAREDO, J. M. (1987): *La economía en evolución*, Siglo XXI, Madrid (2.ª edición actualizada 1996).
- NAREDO, J. M. (1983): «La crisis del olivar como cultivo "biológico" tradicional», *Agricultura y Sociedad*, n.º 26.
- NAREDO, J. M., y LÓPEZ-GÁLVEZ, J. (1994): «Información técnica y gestión económica del uso del agua en los regadíos españoles», en prensa, en *Revista de Estudios Agrosociales*.
- NAREDO, J. M. (1991): «El crecimiento de la ciudad y el medio ambiente», en *Las grandes ciudades: debates y propuestas*, Economistas Libros, Colegio de Economistas de Madrid.
- SOLÍS, C. (1990): *Los caminos del agua*, Modadori, Madrid.
- STANHILL, G. (1977): «An urban agro-ecosystem: The example of nineteenth century Paris», *Ecosystems*, n.º 3.
- VOGTSMANN, H. (1983): «La calidad de los productos agrícolas procedentes de diversos sistemas de cultivo», *Agricultura y Sociedad*, n.º 26.
- VON LIEBIG, J. (1840): *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie*, Brunswick.

PROBLEMAS Y PRÁCTICAS DIFERENCIADAS DEL CONTROL DE LA FERTILIDAD EN DISTINTAS ZONAS EDAFOCLIMÁTICAS

José-María Gascó

ETSIA

Universidad Politécnica de Madrid

Balance de nutrientes y zonality

El conocimiento de los problemas del control de la fertilidad en diferentes lugares requiere un planteamiento sistemático que permita la generalización implícita en las ciencias naturales. Los edafólogos tratan de alcanzar esta finalidad planteando la formación de los suelos como una ciencia causal, que es la manera de proceder con criterio económico. Se considera que el suelo es un *ente natural* que se forma mediante procesos de alteración de los minerales meteorizables, evolución de las materias orgánicas humificables, estructuración de las partículas agregables, y migración de algunos componentes finos e iones desplazables. Estos procesos formadores, que diferencian un perfil vertical biogeoquímico, integrado por las materias minerales, las sustancias orgánicas y el complejo orgánico-mineral, son determinados por cinco *causas generadoras*: el clima, la vegetación, el relieve, el material originario y el tiempo.

El suelo que encontramos en un lugar es una etapa de una serie de desarrollo temporal que se inicia en el material originario, también conocido como roca madre o material parental. Con tiempo suficiente y en condiciones de estabilidad geomorfológica, el suelo zonal y la vegetación climax pueden alcanzar teóricamente el grado de desarrollo que corresponde al *ciclo bioquímico* de los nutrientes, que son restituidos al suelo en la hojarasca y, durante la humificación, van siendo liberados en la medida en que son absorbidos por las raíces. Este singular equilibrio bioquímico es difícil de lograr porque siempre hay pérdidas en el agua de percolación profunda. Estas pérdidas pueden ser cubiertas con la aportación derivada de la meteorización de los minerales alterables, lo que permite hacer un *balance geoquímico* de nutrientes. La superposición de ambos, el ciclo bioquímico y el balance geoquímico, constituye el impropriadamente denominado ciclo biogeoquímico de nutrientes.

PROBLEMAS Y PRÁCTICAS DIFERENCIADAS DEL CONTROL DE LA FERTILIDAD EN DISTINTAS ZONAS EDAFOCLIMÁTICAS

José-María Gascó
ETSIA

Universidad Politécnica de Madrid

Balance de nutrientes y zonalidad

El conocimiento de los problemas del control de la fertilidad en diferentes lugares requiere un planteamiento sistemático que permita la generalización implícita en las ciencias naturales. Los edafólogos tratan de alcanzar esta finalidad planteando la formación de los suelos como una ciencia causal, que es la manera de proceder con criterio económico. Se considera que el suelo es un *ente natural* que se forma mediante procesos de alteración de los minerales meteorizables, evolución de las materias orgánicas humificables, estructuración de las partículas agregables, y migración de algunos componentes finos e iones desplazables. Estos procesos formadores, que diferencian un perfil vertical biogeoquímico, integrado por las materias minerales, las sustancias orgánicas y el complejo orgánico-mineral, son determinados por cinco *causas generadoras*: el clima, la vegetación, el relieve, el material originario y el tiempo.

El suelo que encontramos en un lugar es una etapa de una serie de desarrollo temporal que se inicia en el material originario, también conocido como roca madre o material parental. Con tiempo suficiente y en condiciones de estabilidad geomorfológica, el suelo zonal y la vegetación climax pueden alcanzar teóricamente el grado de desarrollo que corresponde al *ciclo bioquímico* de los nutrientes, que son restituidos al suelo en la hojarasca y, durante la humificación, van siendo liberados en la medida en que son absorbidos por las raíces. Este singular equilibrio bioquímico es difícil de lograr porque siempre hay pérdidas en el agua de percolación profunda. Estas pérdidas pueden ser cubiertas con la aportación derivada de la meteorización de los minerales alterables, lo que permite hacer un *balance geoquímico* de nutrientes. La superposición de ambos, el ciclo bioquímico y el balance geoquímico, constituye el impropriadamente denominado ciclo biogeoquímico de nutrientes.

El sistema suelo-vegetación zonal o clímax, en teoría, no es sostenible, porque los minerales alterables escasean en las etapas finales de la serie de desarrollo y su meteorización no alcanza para cubrir las pérdidas en el agua de percolación profunda. Es claro que un *sistema agrario sostenible* exige la restitución de fertilizantes para cubrir no sólo las pérdidas en el agua de percolación, sino también lo extraído por las cosechas.

El concepto de suelo *azonal* o climático es útil para comparar unas zonas con otras, aunque es teórico y plantea la cuestión de la independencia de las causas, dado que la vegetación no es completamente independiente del clima. En la realidad, el relieve y la litología, que son los factores intrazonales del lugar, influyen en las características de los suelos con desarrollo incipiente o intermedio. El relieve afecta a la inclinación de la radiación incidente y además incide en la dinámica de la erosión-deposición, que rejuvenece el suelo. Las propiedades del material originario, como la permeabilidad y la alterabilidad de los minerales, también intervienen en la formación y características del suelo *intrazonal*.

Un suelo reciente, con poco tiempo de desarrollo, se denomina *azonal*. Los suelos azonales tienen menor importancia científica, aunque tienen mucho interés agrario; por ejemplo, los suelos de Vega, que son azonales porque no han tenido tiempo de desarrollo, tienen un valor agrario que es axiomático, dada su situación en superficies regables próximas a los ríos, su relieve llano, y su fertilidad natural dependiente de los sedimentos procedentes de la cuenca vertiente.

De una manera aproximada se puede decir que el ciclo *biogeoquímico* de nutrientes presenta diferencias en cada lugar, dependiendo de las características zonales, intrazonales y azonales de los suelos. La zona *údica* tiene un balance geoquímico de nutrientes negativo, porque las pérdidas en el agua de percolación superan a la liberación de los minerales meteorizables, y tiene un ciclo bioquímico que es equilibrado por la dinámica de la materia orgánica, ya que las extracciones de las raíces son repuestas en la superficie del suelo por la hojarasca y los nutrientes son consumidos a medida que son liberados en el transcurso de la meteorización. La zona *xérica* presenta un balance geoquímico más equilibrado a causa de la intensidad intermedia de los parámetros climáticos y un ciclo bioquímico que es alterado por una intervención antrópica capaz de disminuir la proporción de materia orgánica del suelo.

Los efectos de la intrazonalidad se manifiestan en la diferenciación de la Península Ibérica, con una parte ácida y otra caliza, ambas con suelos más o menos profundos a causa de la *erosión*. El factor relieve y la irregularidad y estacionalidad de las lluvias favorecen el proceso erosivo, el cual es acelerado por la intervención humana.

La zona *arídica* presenta un balance geoquímico positivo y un ciclo bioquímico mínimo. El espesor de suelo es delgado salvo en las depresiones,

donde los suelos azonales acumulan los sedimentos y las sales solubles transportados en las aguas de escorrentía superficial.

La fertilidad natural en distintas zonas edafoclimáticas

El régimen de humedad del suelo diferencia en España tres zonas: *údica, xérica y arídica*, con ejemplos que se exponen en el cuadro 1. La *údica* se sitúa al norte y noroeste; la *xérica* en el este, centro y sur; y la *arídica* en el sureste peninsular. La zona *údica* tropical cálida no se encuentra en España ni la *ústica* subtropical o monzónica, que se caracteriza por la sincronía de la estación cálida con la lluviosa, aunque hay suelos de transición entre la zona *údica* y la *xérica* o entre ésta y la *arídica*.

Cuadro 1

BALANCES DE HUMEDAD (mm)												
O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	Año
Pontevedra, ejemplo de zona <i>údica</i>												
R	182	160	170	113	109	58	40	41	87	136	187	227 1.510
ETP	27	38	59	81	91	123	133	105	89	57	27	25 855
Falta						65	93	64	2			224
Exceso	155	122	111	32	18				79	160	222	899
Badajoz, ejemplo de zona <i>xérica</i>												
R	53	51	61	45	39	25	5	5	31	55	75	62 507
ETP	34	51	72	105	133	166	195	176	128	78	47	32 1.216
Falta			11	60	94	141	190	171	97	23		787
Exceso	19	0								28	30	77
Almería, ejemplo de zona <i>arídica</i>												
R	25	21	21	27	17	4	2	3	13	25	30	31 219
ETP	49	51	76	109	137	159	172	174	122	87	60	46 1.242
Falta	24	30	55	82	120	155	170	171	109	62	30	15 1.023
Exceso												0

Zonas edafoclimáticas. R mm de lluvia, ETP mm de evapotranspiración potencial según Turc. Si se tiene en cuenta la capacidad de reserva del suelo, S mm, resulta que en Pontevedra la falta en el suelo (224-S) es prácticamente nula y el exceso (899-S) es de unos 700 mm, en Badajoz la falta en el suelo es de unos 600 mm y el exceso prácticamente nulo, y en Almería la falta en el suelo es de unos 1.000 mm y el exceso nulo. El milímetro de agua (mm) equivale a un litro por metro cuadrado y a diez metros cúbicos por hectárea.

Fuente: Elías y Giménez (1965).

En las zonas lluviosas, cuyos suelos tienen un régimen de humedad údico, con agua disponible para la vegetación durante todo el año, el balance geoquímico es negativo, ya que la cantidad de nutrientes del suelo que se pierde en el agua de percolación profunda supera a la cantidad liberada a partir de los minerales meteorizables, que van siendo cada vez más escasos; el resultado es un suelo zonal *ácido*, empobrecido en cationes alcalinotérricos como el calcio y el magnesio. El equilibrio se mantiene gracias a la dinámica de la *materia orgánica*, que modera la acidez y secuestra los nutrientes, los cuales se van liberando durante el proceso de humificación o transformación de la materia orgánica fresca en *humus* o materia orgánica del suelo. Es claro que, al cabo del tiempo, el sistema se degrada porque llega un momento en que no quedan minerales alterables en cantidad suficiente para equilibrar las pérdidas.

La degradación por acidificación del suelo se acelera cuando se intensifican las extracciones por las cosechas. El sistema agrario es *insustentable*, a menos que una aportación adicional de nutrientes minerales reponga lo extraído en la cosecha y lo perdido en el agua de percolación. En las regiones tropicales poco desarrolladas, las *cenizas* obtenidas al quemar la vegetación natural se siguen utilizando para fertilizar el suelo y enmendar la acidez o pH, lo que tan sólo dura unos pocos años, que es el tiempo necesario para que el suelo se acidifique más y deje de ser productivo, hasta el extremo de ser abandonado. El sistema agrario es conocido como *agricultura itinerante*; las aldeas avanzan a costa de la selva, cuya vegetación se va quemando para obtener las cenizas. Este avance va dejando un rastro de terreno asolado e improductivo, cuya extensión se acrecienta tanto más aceleradamente cuanto más se mecaniza la práctica.

La intensidad de la meteorización en las regiones *lluviosas más frescas* es menor que en las cálidas, permitiendo que los suelos mantengan una mayor proporción de minerales alterables y capaces de liberar nutrientes, como los cationes alcalinotérricos calcio y magnesio, por lo que su sistema agrario es ligeramente más sustentable. En este caso el sistema es *agropecuario* e integra dos espacios diferentes: uno forestal más extensivo, que es el exportador de nutrientes en lo que sirve para alimentar al ganado o para servirle de cama, y otro de pradera y agrícola, que es más intensivo y consumidor de nutrientes en tanto receptor del estiércol o las deyecciones.

El *ganado* es un vehículo de nutrientes cuando se practica el majadeo o el redileo, pero el producto de transferencia de nutrientes por excelencia es el *estiércol*, que es a la vez un fertilizante y una enmienda. Es un fertilizante porque concentra nutrientes minerales de una amplia superficie pastoreada, en un proceso repetitivo de recepción de deyecciones sobre la hojarasca que sirve de cama; y es una enmienda porque amortigua la acidez y favorece la estructuración del complejo orgánico-mineral, esponjando y aireando el suelo, a la vez que aumenta su retención de agua.

La práctica del *estercolado* es más favorable que la de las cenizas porque, además de la aportación de la materia orgánica, que enmienda las características físicas, químicas y biológicas del suelo, el estiércol incorpora una mayor concentración de nitrógeno, lo que contribuye a aumentar considerablemente la producción de forraje para ensilar o para henificar. La condición física es mejorada en cuanto a esponjamiento, aireación y retención de humedad, que son características asociadas a la estructura o agregación de las partículas y a las propiedades del complejo arcillo-húmico; la condición fisicoquímica, en cuanto al poder amortiguador por aumento de la capacidad de intercambio iónico; la condición química en cuanto al mantenimiento de la dilución de los nutrientes y sus proporciones relativas en valores adecuados para la alimentación de la vegetación; y la condición biológica, en cuanto a la actividad de los organismos beneficiosos del suelo.

El *fuego* se utiliza también en las regiones lluviosas menos cálidas, donde el mayor grado de desarrollo social, y de conocimiento, no ha servido para evitar esta práctica, que es poco eficiente, dada su fuerte degradación entrópica, y perjudica más que beneficia en todos los casos a causa de la destrucción de la cubierta vegetal y la desprotección del suelo frente a la erosión. Los ganaderos la utilizan para obtener pastos nuevos más digestibles y apetitosos, y los agricultores para fertilizar el suelo y enmendar su acidez, utilizando hornos y hormigueros o «formigueros» para quemar los montones de restos vegetales del monte y de las cosechas. El modelo de *crecimiento es insostenible* porque la creciente colonización agrícola e importadora de nutrientes se produce a costa de la superficie forestal y pascícola, que es más pecuaria, extensiva y exportadora; resultando que la demanda de nutrientes de la agricultura intensiva aumenta a la par que disminuye la capacidad de oferta de la superficie extensiva.

La *enmienda* de la acidez del suelo agrícola con caliza o dolomía es frecuente en las regiones lluviosas con cierto grado de desarrollo. La práctica del *encalado* no sólo aumenta la productividad a causa de la mejora de la condición de acidez y el enriquecimiento en los nutrientes calcio y magnesio, sino que mejora la condición física al favorecer la estructura del suelo. A medio plazo, los suelos enmendados presentan escasez de otros nutrientes y oligoelementos, lo que se manifiesta en los cultivos como carencias nutritivas. Este hecho explica los aforismos populares que describen la insustentabilidad: «el encalado enriquece al padre y arruina al hijo» y «quien encala sin estercolar, labra su ruina». Es claro que la intensificación a base de enmiendas minerales de carbonatos alcalinotérricos es insostenible, salvo cuando los nutrientes y oligoelementos extraídos por las cosechas y los perdidos en el agua de percolación son repuestos artificialmente. Las superficies de suelos ácidos se exponen en el cuadro 2, donde se aprecia su presencia en el norte y parte occidental de la España Peninsular.

SUPERFICIE DE SUELOS ÁCIDOS (ha)

Provincias	Superficie de suelos ácidos en hectáreas		
	Clase I	Clase II	Clase III
La Coruña	287.000	336.000	3.600
Lugo	167.000	297.000	7.000
Orense	324.000	364.000	37.000
Pontevedra	298.000	108.000	8.300
Oviedo	21.000	563.000	84.000
León	177.000	612.000	98.500
Zamora	322.000	307.000	50.000
Salamanca	507.000	338.000	23.200
Cáceres	-	546.000	1.337.000
Badajoz	-	406.000	1.043.000
Huelva	-	56.000	323.000
Córdoba	-	254.000	159.000
TOTALES	2.103.000	4.187.000	3.173.600

Superficies de suelos ácidos. La clase I corresponde a los suelos muy ácidos, con pH menor de 4,5; la clase II medianamente ácidos, con pH entre 4,5 y 5,5; y la clase III ligeramente ácidos, con pH entre 5,5 y 7,0.

Fuente: elaboración propia con la colaboración de Roser Botey.

En zonas con clima menos intenso, por ejemplo en la región *mediterránea*, donde el suelo tiene un régimen de humedad xérico, que se caracteriza por su *estacionalidad*, con agua disponible para la vegetación durante la estación fría y lluviosa, y sin agua disponible en parte de la estación seca y cálida, se requiere más tiempo para que el suelo alcance su clímax. El perfil mantiene su fertilidad natural durante milenios, salvo en el caso de los suelos situados en superficies llanas muy antiguas, donde aparece la paulatina degradación por acidificación a causa de las pequeñas pérdidas en las escasas aguas de percolación estacional. El déficit de humedad de algunos suelos se expone en el cuadro 3, con valores que señalan la necesidad de regar en las zonas xérica y árida, que suponen en conjunto la mayor parte de la Península Ibérica.

DÉFICIT DE HUMEDAD DE LOS SUELOS DE LA PENÍNSULA (mm)

Observatorio	Lluvia	Evapotranspiración	Déficit
Almería	220	1.120	900
Madrid	430	930	500
Sevilla	530	960	430
León	530	800	270
Vitoria	840	570	-270

Déficit de humedad de los suelos de la Península Ibérica y necesidad de regar en la zona xérica y en la árida. El milímetro de agua (mm) equivale a un litro por metro cuadrado y a diez metros cúbicos por hectárea.

Los suelos de la zona xérica, en general, tienen algunas propiedades y características derivadas del *material originario*; por lo que no es de extrañar que en la Península Ibérica se presente una parte *ácida* y otra *caliza*: la *ácida* se sitúa principalmente en la mitad oeste peninsular y la caliza en el este y en el sur. La mayor fertilidad de los suelos de la España caliza repercute en su sistema agrario, que es más agrícola y productivo que el de la España *ácida*, donde es más pecuario. En muchos lugares de la zona xérica, el sistema de *dehesa* presenta la integración territorial de sus explotaciones agrícolas y ganaderas, ambas asociadas y cercadas.

El *fuego* no sólo se utiliza en las fases iniciales de ahucamiento del bosque seco y el chaparral alto, que es la vegetación esclerófila natural de la zona xérica, sino que se sigue utilizando en los pastizales y en las estepas porque la hierba nueva es más digestible y apetitosa. También se utiliza para quemar la paja del cereal, con objeto de facilitar las labores, enriquecer el suelo en nutrientes minerales como el potasio, y evitar la competencia por el nitrógeno, ya que la paja de cereal tiene un valor de la relación carbono/nitrógeno próximo a 80, que es muy superior al valor 10 a 12 de la materia orgánica del suelo (cuadro 4).

El fuego, las rozas y la roturación mecanizada han servido para aumentar la *superficie agrícola* de la zona xérica a costa de la *superficie pecuaria* de monte y pastizal y de la *superficie forestal*. El sistema agropecuario de dehesa, el encinar, el acebuchal y el algarrobal han sufrido una presión transformadora concorde con la del bosque, el matorral y la estepa, en beneficio de la alternativa cereal-leguminosa, de los cultivos marginales de viñedo y olivar, y de otros cultivos más intensivos, como los situados en la zona termomediterránea, donde el regadío ha posibilitado el desarrollo de amplias extensiones de huertas y cultivos frutales, con predominio de los cítricos.

Cuadro 4

RELACIÓN CARBONO A NITRÓGENO C/N DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y OTRAS SUSTANCIAS ORGÁNICAS

	Relación C/N
Proteína vegetal	3,5
Bacterias	5,0
Actinomicetos	6,0
Promedio de microorganismos	8,0
Hongos	9,0
Materia orgánica del endopedon (+)	10,0
Materia orgánica del epipedon	11,0
Trébol	12,0
Alfalfa	13,0
Promedio de leguminosas	20,0
Estiércol	20,0
Compós de residuos sólidos urbanos	24,0
Paja de centeno y avena	40,0
Rastrojo de caña de azúcar	50,0
Rastrojo de maíz	60,0
Paja de trigo y cebada	80,0
Serrín	400,0

Fuente: Tamés (1958).

La zona más seca de la Península Ibérica se sitúa en el *sureste*, donde los suelos tienen un régimen de humedad *arídico*, ya que casi todo el año carecen de humedad disponible para las plantas. El balance geoquímico es tan positivo que las sales solubles llegan a acumularse en los suelos, sobre todo en los situados en las depresiones topográficas. En esta zona, la mayor dotación climática y el regadío han posibilitado el desarrollo de la llamada *horticultura industrial*, con cultivos muy intensivos en invernaderos y sobre suelos artificiales, donde hay que tener en cuenta el balance de nutrientes, de agua, de sales y de materia orgánica.

Balance de nutrientes, de agua, de sales y de materia orgánica

El *limitante* es diferente en cada una de las distintas zonas edafoclimáticas: en la zona *údica* es la baja concentración de nutrientes, por razón del lavado de los suelos; en la *zona xérica* es el agua del suelo, por razón de su escasez durante la estación seca; y en la *zona arídica* es la salinidad, por razón de su exceso. En sentido amplio, se puede decir que, para definir la sustentabilidad de cualquier sistema agrario, se necesita hacer un balance no sólo de nutrientes para evitar su carencia, de agua para evitar su déficit y de sales para evitar su acumulación, sino también un balance de materia orgánica, que es la encargada de mantener a los nutrientes con el grado de dilución y en las proporciones requeridas por la vegetación.

El balance de nutrientes requiere que se adicione al suelo lo extraído por las cosechas (cuadro 5). Las extracciones revelan la mayor exigencia de las leguminosas que, por su composición, se utilizan a veces como «abono verde», a lo que no es ajena la fijación simbiótica del nitrógeno.

Cuadro 5

EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR LAS COSECHAS, INCLUYENDO LA EXPORTACIÓN EN LOS RESIDUOS

Cosecha	kg de nutrientes extraídos por cada 1.000 kg de cosecha				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	
Trigo	30	12	17		6
Cebada	25	8	18		5
Centeno	26	14	23		7
Avena	28	11	31		8
Arroz	16	7	12		5
Maíz	27	15	40		11
Haba	52	16	39		15
Veza	60	13	16		22
Soja	75	15	71		30
Parata	8	3	10		13
Remolacha	4	1	5		2
Nabo	3	1	4		2
Zanahoria	4	1	4		1
Lino (semillas)	33	13	10		3
Tabaco (hojas)	35	7	41		51
Forraje fresco	5	1	4		3

Fuente: Tamés (1958).

El balance de agua exige la adaptación a la condición edafoclimática natural (cuadro 1), eligiendo la rotación de los cultivos y las labores más convenientes, con inclusión del barbecho para conservar la fertilidad del suelo y gestionar su régimen de humedad.

El balance de sales se establece de manera que el valor de la cantidad añadida con el agua de riego sea de la misma magnitud que la cantidad desplazada del suelo en el agua de percolación profunda. Un balance medio exige la cantidad de agua en exceso que se expone en la tabla 6. Como la salinidad media del agua de los ríos españoles es de unos 730 miligramos de solutos por litro de agua, la cantidad de agua en exceso sobre el agua de riego es, aproximadamente, de un 25%. Los valores de la tabla 6 son medios y no generalizables, ya que en cada cuenca aparecen grandes desviaciones de la media.

Cuadro 6

INCREMENTO DE RIEGO PARA DRENAR Y EVITAR LA SALINIZACIÓN DEL SUELO

Cuenca	Media de sales mg/l.	Incremento del riego %
Norte	120	3
Duero	150	4
Tajo	180	5
Guadiana	1.400	35
Guadalquivir	890	22
Sur	970	25
Segura	2.070	50
Júcar	2.200	50
Ebro	790	20
Pirineo Oriental	1.000	25

Balance de sales en los regadíos para evitar la salinización del suelo. Los valores son medios y no son generalizables, ya que en cada cuenca aparecen valores muy dispares.

El contenido zonal de materia orgánica del suelo ha sido obtenido por Tamés (1958), que ha utilizado una ecuación edafogenética para generalizar 320 valores experimentales distribuidos por toda España (cuadro 7). El balance de materia orgánica, que es necesario para mantener la capacidad productiva del suelo, depende no sólo de la zona, sino también de la profundidad del laboreo y de la intensidad del cultivo.

Cuadro 7

VALOR ZONAL DEL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO Y CONSUMO ANUAL DE HUMUS EN kg/ha/año

Región	Valor Zonal %	Consumo en seco Labor 15 cm. kg/ha/año	Consumo en seco Labor 25 cm. kg/ha/año	Consumo intensivo kg/ha/año
I. Norte y Noroeste	2,71	—	—	1.200
II. Meseta Norte	1,13	150	225	900
III. Meseta Sur, Levante y Valle del Ebro	1,18	225	350	1.200
IV. Extremadura y Andalucía Occidental	1,04	600	900	1.800
V. Andalucía Oriental	0,58	300	450	1.800

Valor zonal del contenido en materia orgánica de los suelos cultivados y consumo de humus en función de la profundidad de la labor y de la intensidad del cultivo.
Fuente: Tamés (1958).

La formación de humus depende de la aportación de los residuos de los cultivos (cuadro 8) y del coeficiente isohúmico (cuadro 9) de transformación de dichos residuos y del estiércol (Gros 1986) en humus o materia orgánica del suelo.

Cuadro 8

APORTACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y FORMACIÓN DE HUMUS POR LOS RESIDUOS DE LOS CULTIVOS

Cultivo	Materia seca t/ha.	Humus formado kg/ha/año
Trigo (excluida la paja)	3	300
Cebada (excluida la paja)	2	300
Paja de trigo	4	400
Maíz (incluidas las cañas)	5	750
Remolacha	6	900
Alfalfa (dos años)	8	800
Pradera temporal (tres años)	18	900

Aportación de materia orgánica y formación de humus a partir de los residuos de los cultivos.
Fuente: Gros (1986).

FORMACIÓN DE HUMUS A PARTIR DE LAS APORTACIONES DE MATERIA ORGÁNICA AL SUELO

Aportación	Coeficiente isohúmico	
	K1 (Gros)	K1 (Henin)
Estiércol bien fermentado	0,4 - 0,5	0,5
Estiércol poco fermentado		0,2 - 0,4
Residuos de cultivo verdes	0,2 - 0,3	
Residuos de cultivo secos y abonados con nitrógeno	0,1 - 0,2	0,15 - 0,3
Residuos de cultivo secos	0,1 - 0,2	
Paja		

Coeficiente isohúmico de formación de la materia orgánica del suelo.
Fuente: Gros (1986).

Estabilidad del sistema agrario mediterráneo. Sedentarismo y trashumancia. La independencia de la tierra

La actividad agraria en la región mediterránea es más *sustentable* que en las regiones más lluviosas y en las más secas porque los suelos zonales de las regiones más lluviosas presentan carencias a causa del desplazamiento de los nutrientes en el agua que percola en profundidad y los suelos regados de las zonas más secas acumulan sales en exceso. La agricultura itinerante de las regiones lluviosas tropicales maneja el fuego para enmendar la acidez del suelo con las cenizas, que sirven de fertilización mineral complementaria de la orgánica. En los desiertos, el nomadismo y la itinerancia agrícola se tienen cuando los suelos regados se avenan y se drenan para evitar su salinización.

Los suelos de la zona mediterránea mantienen su fertilidad porque la intensidad climática es intermedia, de manera que los nutrientes apenas son lixiviados y los liberados desde los minerales meteorizables cubren las pérdidas por percolación y las extracciones por los vegetales. La *estabilidad* del sistema agrario mediterráneo es comparable a la del monzónico, aunque ambos se diferencian en la sincronía estacional de la lluvia y la temperatura.

La conservación, durante milenios, de la capacidad del suelo para producir *cereales almacenables*, como el trigo y la cebada en la zona xérica o mediterránea, o el arroz y el maíz en la zona ústica subtropical y monzónica, ha hecho posible la construcción de grandes imperios con sus civilizaciones hidráulicas; primeramente en la zona monzónica, con diques para consu-

mir el agua «in situ» en los bancales; y más tarde en la mediterránea, con regulación temporal mediante embalses y regulación espacial mediante trasvases para consumir el agua «ex situ» en los regadíos. Las rutas comerciales, como la de la seda, han favorecido la transferencia de tecnología entre oriente y occidente.

El sostenimiento de la capacidad productiva requiere de prácticas de *conservación de suelos* para mantener la integridad del perfil y evitar su degradación por deterioro de la estructura y pérdida de las materias orgánicas y las minerales más finas y activas como las arcillas. El laboreo a nivel, las terrazas, los bancales, el cultivo en fajas, la cubierta vegetal o malhojo y el estercolado son algunas prácticas que sirven para proteger el suelo de la degradación por *erosión*. Las enmiendas con materias orgánicas y con cal, caliza o dolomía no sólo afectan a la fertilidad química del suelo, al aportar nutrientes, sino también a la fertilidad física, al favorecer la estructura, que influye en la permeabilidad y en la aireación y, finalmente, a la fertilidad biológica, al favorecer la actividad de los organismos beneficiosos del suelo.

La civilización emergente desde la zona *arídica* o desértica del sur fue fértil en contribuciones a la *tecnología* agraria, con prácticas como el entarquinado con sedimentos, cuyo valor fertilizante depende del contenido en materias orgánicas y nutrientes de las tierras de la cuenca vertiente, y el hábil manejo de las avenidas estacionales, el alumbramiento de las aguas subterráneas por galerías y pozos, la partición del caudal continuo de agua, el cultivo de secano en terrazas de absorción, el cultivo forrajero en las vaguadas con alcacer de la asociación cereal-leguminosa para alimentar el ganado, la horticultura de regadío, el conocimiento de las plantas indicadoras de la salinidad y, sobre todo, el avenamiento del suelo con caños para sanear el suelo y evitar su salinización.

Azuda, acequia, azarbe y noria son algunos conceptos de tecnología hidráulica; salicornia, suda, salsola y soda son conceptos de botánica aplicada, al igual que alcacer; y álkalí blanco y álkalí negro son conceptos que definen los suelos salinos y sódicos, respectivamente. El balance de agua se corrige mediante el regadío y el balance de sales mediante el drenaje de los suelos. El balance de materia orgánica se establece con la alternativa agrícola-pecuaria, que incluye, además del ganado de labor, el productor de carne, leche y lana. La paja se almacena para la cama del ganado y para satisfacer el índice de volumen de su ración alimenticia.

La aportación tecnológica a la cultura agraria desde la zona *úidica* del norte lluvioso y frío es más pecuaria y se concreta en la estabulación del ganado. Los nutrientes, extraídos del suelo por el forraje que sirve de alimento y de cama para el ganado, son concentrados en el estiércol, que se aplica al suelo y sirve para conservar su capacidad productiva. En este caso, la leche y la carne son los principales alimentos humanos y lo que se almacena es el heno.

De manera resumida se puede decir que la estabilidad del sistema agrario tradicional de la zona mediterránea se sustenta no sólo en sus condiciones naturales, sino también en la tecnología, lo que hace posible el establecimiento de una agricultura *sedentaria*. El sistema agrario mediterráneo es agrícola y pecuario, con segregación territorial o integrado en dehesas. La diversidad de condiciones que se presentan en cada región determina una amplia gama de usos complementarios de los suelos: regadío intensivo, secano extensivo, pastos y bosques. El ganado *trashumante*, hoy en declive, es trasladado de un humus a otro, de una tierra a otra, por una amplia red de vías pecuarias que conectan territorios situados en diferentes latitudes y altitudes.

La *independencia* de la tierra se va asentando sobre el binomio integrado por las explotaciones intensivas y extensivas, las primeras cada vez más productivas e importadoras de energía, materia orgánica, nutrientes y agua, y las segundas cada vez más degradadas y abandonadas.

Evolución del sistema agrario

Largo ha sido el camino desde la *revolución agraria* durante el Neolítico (5000 a.d.C.), con la domesticación de los bueyes, el uso del arado, el almacenamiento de los cereales, la artesanía de los tejidos finísimos y la sustitución de la siembra en hoyos por la de surcos en Mesopotamia y Egipto, hasta la programación actual a escala planetaria, con el equilibrio entre *intensidad* y *extensidad* o abandono de terrenos cultivados, según el diseño de los grandes bloques que controlan la política y la economía del mundo y asignan las cuotas del mercado. Arrás han quedado las colonizaciones derivadas de los grandes descubrimientos geográficos del siglo XV y las transferencias mercantiles de tierras que se producen por la presión de los capitales surgidos del comercio colonial durante el antiguo régimen (siglos XVII y XVIII).

La inflexión de la presión demográfica a causa del freno de la emigración a América en los comienzos del siglo XIX exacerbó el hambre de tierra y justificó las *desamortizaciones* tanto de las tierras comunales como de las poseídas por las manos muertas de las instituciones.

El impulso agrario a partir de la *revolución tecnológica e industrial* de finales del siglo XIX sirve para desarrollar la Química Agrícola y los fertilizantes, cuya aplicación se completa, entrado el siglo XX, con la mecanización de las labores. En suma, la actividad agraria se presenta entonces como una función dependiente del *suministro energético*, tanto directamente en la mecanización del campo como indirectamente en los agroquímicos que se aplican a los suelos y los cultivos.

En la actualidad, el paisaje agrario es un mosaico de cultivos intensivos y extensivos, con explotaciones ganaderas más o menos industrializadas,

pueblos, ciudades y vías de comunicación. La integración de las actividades agrarias con las industriales, las comerciales y las serviciales plantea como una necesidad el análisis de la *economía de los recursos naturales*, incluyendo el suelo, el agua, el clima, la flora y la fauna, todos con diferente grado de artificialidad.

Los factores de crisis e inestabilidad han aumentado porque, a la disminución del nivel de fertilidad por pérdida de nutrientes y materia orgánica, a la pérdida de la integridad del suelo a causa de la erosión y a la salinización, se les ha añadido la *eutrofización* por exceso de nutrientes y la *contaminación* por sustancias minerales y orgánicas inconvenientes para los suelos y las aguas. El *agua* y su *calidad* han pasado a ser factores limitantes o de escasez.

La ordenación del territorio y sus aprovechamientos, con la *ruralización* y la *urbanización* como las dos caras de una misma moneda, la que asocia a los pueblos y las ciudades con las tierras, es un planteamiento actualizado que sustituye al tradicional de reforma agraria o colonización, concentración parcelaria y transformación de secano en regadío. La estabilidad del sistema requiere un *tratamiento integrado* de los recursos y los residuos urbanos y agrarios, que vienen a unirse en la conservación de la capacidad productiva de los suelos, no sólo frente a la pérdida de nutrientes, la erosión y la salinización, sino también frente a la degradación por eutrofización y contaminación. La sustitución de la economía de los proyectos por la *economía de los recursos*, que integra al ambiente con la agricultura, la ganadería, la floresta, el agua y el paisaje en una única unidad administrativa, no sólo es posible, sino necesaria.

La tecnología agraria en 1950

La tecnología agraria tras la segunda guerra mundial trata de aumentar la *productividad* de los suelos y para ello se emprenden algunas intensificaciones: por ejemplo, la transformación en regadío, con la finalidad de corregir el régimen de humedad de la estación seca, que es la más cálida en la región mediterránea; la enmienda cálcica de los suelos ácidos, para aumentar la disponibilidad de muchos nutrientes y suministrar calcio; la enmienda orgánica, para alcanzar un nivel de humus activo y estabilizado que sea suficiente para que el suelo tenga buenas propiedades físicas, químicas y biológicas; la fertilización de fondo, para elevar el nivel de fósforo y potasio en función de la acidez y de la intensidad del cultivo, de manera que los suelos estén bien provistos; y la fertilización de reposición con nitrógeno, fósforo y potasio, para restituir a los suelos lo extraído por las cosechas.

La *agronomía* plantea la transformación secano-regadío, la transformación de cultivos con variedades cada vez más productivas, y la ordenación

del territorio. La colonización o reparto de tierras y la concentración parcelaria buscan una explotación viable técnica y económicamente. La *conservación de los suelos*, desde la perspectiva productivista, se restringe a los montes útiles y a las plantaciones maderables, donde el gasto insuficiente en defensa frente a la erosión es justificado por el beneficio indirecto de protección de la infraestructura hidráulica y viaria.

La corrección del *régimen de humedad* del suelo requiere lo necesario para satisfacer las necesidades de evapotranspiración, frente a las que el agua contenida en las cosechas es una cantidad despreciable. El hecho más destacable es que se necesita regar en casi todos los suelos de la Península Ibérica, dada la distribución irregular de las lluvias durante las estaciones meteorológicas. La irregularidad interanual plantea la problemática de las sequías.

Las raíces extraen el agua del suelo húmedo con mayor facilidad que la del suelo seco, cuya disponibilidad es menor, no sólo en cuanto al volumen, sino también en cuanto a la energía de retención. Para evitar el *consumo de lujo* se necesita conocer bien tanto el sistema suelo-agua-plantas como la ecología de los cultivos.

El balance de agua y el de nutrientes se equilibran con el riego y la fertilización, respectivamente. En el *secano*, las labores se encaminan a favorecer la infiltración en el suelo y evitar su evaporación. El *barbecho* es un ejemplo de adaptación al balance de agua y nutrientes, para lo que se cuenta además con la fijación simbiótica del nitrógeno y con el menor consumo de agua del cultivo de leguminosas como la vega y las habas, que se introducen en la rotación del llamado barbecho semillado.

El *balance de sales* trata de evitar su acumulación en el suelo y para ello se aplica una sencilla ecuación que iguala la cantidad total aportada por el agua de riego con la extraída por el agua de drenaje. El nivel de salinidad en el suelo determina qué cultivos se seleccionan según su grado de tolerancia.

El *balance de materia orgánica* se plantea de manera que los suelos puedan alcanzar el nivel de humus que le corresponde a su zona climática y que dicho nivel se pueda mantener a base de restituir lo consumido durante la rotación de los cultivos establecidos en cada lugar.

La consideración del *enclavado* como una enmienda de la acidez plantea la necesidad de su financiación al modo de las reformas estructurales. No se debe incluir como un gasto del cultivo para no reducir la competitividad del agricultor, principalmente en los suelos ácidos y pobres en nutrientes que son de por sí menos productivos. La cantidad a añadir en cada caso depende de la acidez del suelo y de su textura (cuadro 10). La eficacia temporal es mayor con cal que con caliza y en este último caso depende de su granulometría.

ORIENTACIÓN SOBRE LA CANTIDAD DE CALIZA A AÑADIR AL SUELO

Textura	kg de caliza para llevar el pH del suelo De 5,5 a 6,5	
Arenosa	1.500	2.000
Franca	2.500	3.000
Arcillosa	3.500	4.000

Orientación sobre las necesidades de caliza según la acidez y la textura del suelo, que son parámetros relacionados con el complejo de intercambio iónico.
Fuente: Tamés (1958).

La colonización, proyectada como una reforma agraria y pensada para ocupar mano de obra en explotaciones familiares, que por su pequeño tamaño son inviables, y la concentración parcelaria, sin rigor edafotécnico, son *acciones agronómicas* que han acarreado en muchos casos más males que beneficios desde el prisma de la estabilidad agraria. Algo parecido ha ocurrido con la transformación de cultivos cuando el mercado está intervenido o es protegido.

La *conservación del suelo agrícola frente a la erosión* es establecida el 5.07.1949 por una Orden del Ministerio de Agricultura que es de carácter más voluntario que otra cosa, al igual que la Ley de Conservación de los Suelos Agrícolas del 20.07.1955. De hecho, el Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura (Orden del 10.03.1956) apenas ha alcanzado para contar con una dotación testimonial de varios técnicos.

El perfeccionamiento agronómico y su incidencia sobre la estabilidad del sistema agrario mediterráneo

El perfeccionamiento agronómico a base de la mecanización, la fertilización química y las variedades vegetales obtenidas genéticamente, es sincrónico con el intento de industrialización de España. La complejidad agraria aumenta con la diversidad de cultivos y el auge de las producciones animales, que dependen cada vez menos de la tierra local y más del mercado internacional de materias primas. El cambio desde la agricultura de *subsistencia* a la actividad agraria de *mercado* supone cierta disminución de la dependencia de los recursos naturales y un aumento de la dependencia de la tecnología internacional, incluyendo los agroquímicos, las semillas seleccionadas y las razas mejoradas.

La *mechanización* ha permitido aumentar la superficie labrada y ha incrementado la productividad de los suelos al mejorar sus relaciones hídricas de infiltración superficial y de capacidad de reserva de agua en el espesor explorado por las raíces. Entre las consecuencias negativas de la mecanización cabe resaltar la disminución de la superficie exportadora de materias orgánicas y, sobre todo, la aceleración de la erosión de los suelos.

Las extracciones de las cosechas, además de los nutrientes principales N-P-K (cuadro 11), incluyen los oligoelementos (cuadro 12), cuya falta se hace notar tanto más cuanto más puro es el fertilizante químico artificial que se añade al suelo o que se usa en la fertilización foliar. Además de los fertilizantes, se aplica un gran número de *agroquímicos*, como herbicidas, fungicidas e insecticidas.

Cuadro 11

FERTILIZACIÓN EN LA AGRICULTURA ESPAÑOLA

Cultivo	Rendimiento t/ha.	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %
Trigo (grano)	4,0	3,0	1,5	3,0
Cebada (grano)	4,0	2,8	1,2	2,5
Uva para vino	8,0	1,0	1,2	2,0
Uva de mesa	18,0	1,0	1,0	2,0
Oliva de mesa	2,5	3,0	0,6	6,0
Aceituna de almazara	3,0	3,0	0,6	5,0
Remolacha (raíces)	40,0	0,5	0,2	0,6
Algodón (fibra)	3,0	10,0	8,0	14,0
Girasol (frutos)	3,0	4,0	2,0	12,0
Arroz (grano)	7,0	2,4	1,0	2,5
Maíz (grano)	14,0	3,0	1,2	3,0
Pasto del Sudán (forraje)	80,0	0,2	0,1	0,3
Raygrass (forraje verde)	40,0	0,2	0,1	0,3
Pradera polifita (verde)	50,0	0,4	0,1	0,3
Tomate (frutos)	50,0	0,6	0,2	0,7
Pepino (frutos)	30,0	0,8	0,5	0,6
Melón (frutos)	40,0	1,0	0,4	1,3
Cítricos	50,0	1,0	0,5	0,8
Manzano	40,0	0,6	0,4	0,6
Peral	30,0	0,7	0,4	0,8
Albaricoquero	30,0	0,7	0,4	0,8
Melocotonero	20,0	1,5	0,6	1,2

Fertilización en función de las cosechas de mayor importancia en España.
Fuente: Urbano (1990).

Cuadro 12

OLIGOELEMENTOS Y FERTILIDAD DEL SUELO

Oligoelemento	Nivel pobre	Miligramos por kg de suelo Medio	Suficiente	Extractante
Hierro Fe	< 2,0	2,0-4,5	> 4,5	DTPA
Manganeso Mn	< 20,0	20,0-50,0	> 50,0	Mn ₂₊ libre e intercambiable
Boro B	< 0,5	0,5-1,0	> 1,0	Agua caliente
Zinc Zn	< 2,5	en función del pH	> 6,0	HCl 0,2N
Cobre Cu	< 1,0			EDTA
Molibdeno Mo	< 0,2	(pH<5,0) y 0,05 (pH>6,5)		Oxalato ácido de amonio
Cloro Cl	Son más frecuentes los problemas de toxicidad que los de carencias.			
Cobalto	< 10,0, interesa a la simbiosis leguminosa-Rhizobium para fijar el N del aire.			

OTROS MICROELEMENTOS

Yodo Y	Su esencialidad es dudosa
Selenio Se	No se ha comprobado su esencialidad
Flúor F	No se ha comprobado su esencialidad para los vegetales aunque es necesario para los animales.
Silicio Si	Parece inerte para las plantas
Aluminio Al	Tóxico a pH < 4,0
Arsénico, Cadmio, Titanio y Vanadio	se han encontrado en las plantas pero su esencialidad no ha sido comprobada.

Oligoelementos en el suelo y otros microelementos.

La cosecha se reduce cuando aparece la *salinidad*, que es frecuente en los regadíos de las regiones áridas y semiáridas. La reducción de cosecha según el grado de tolerancia de los cultivos a la salinidad del suelo se expone en las *tablas 13 y 14*. El parámetro de control de la salinidad es la conductividad eléctrica CE dS/m 25°C del extracto de suelo saturado con agua. Considerando un valor de 1,5 para la relación de concentración de sales entre el agua de riego y el agua del suelo a saturación, se puede estimar un valor medio de 1,7 dS/m a 25°C para la salinidad de los suelos españoles, en el supuesto de que se drenen para conseguir el balance de sales. La magnitud de este valor sólo alcanza para afectar a la producción de los cultivos sensibles, como los hortícolas y los subtropicales. El problema se agrava cuando falta el drenaje, porque entonces las sales se acumulan paulatinamente en el suelo.

Cuadro 13

REDUCCIÓN DE LA COSECHA SEGÚN EL GRADO DE TOLERANCIA
DE LOS CULTIVOS A LA SALINIDAD DEL SUELO
Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, CE dS/m 25°C

Cultivo	Reducción porcentual de la cosecha				
	0%	10%	25%	50%	100%
CULTIVOS EXTENSIVOS MEDITERRÁNEOS					
Cebada	8,0	10,0	13,0	18,0	28,0
Algodón	7,7	9,6	13,0	17,0	27,0
Remolacha	7,0	8,7	11,0	15,0	24,0
Trigo	6,0	7,4	9,5	13,0	20,0
CULTIVOS EXTENSIVOS SUBTROPICALES					
Soja	5,0	5,5	6,2	7,5	10,0
Sorgo	4,0	5,1	7,2	11,0	18,0
Cacahuete	3,2	3,5	4,1	4,9	6,5
CULTIVOS EXTENSIVOS MONZÓNICOS					
Arroz	3,0	3,8	5,1	7,2	11,5
Maíz	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
CULTIVOS HORTÍCOLAS					
Tomate	2,5	3,5	5,0	7,6	12,5
Pepino	2,5	3,3	4,4	6,3	10,0
Melón	2,2	3,6	5,7	9,1	16,0
Espinaca	2,0	3,3	5,3	8,6	15,0
Col	1,8	2,8	4,4	7,0	12,0
Patata	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Maíz dulce	1,7	2,5	3,8	5,9	10,0
Haba	1,6	2,6	4,2	6,8	12,0
Pimiento	1,5	2,2	3,3	5,1	8,5
Lechuga	1,3	2,1	3,2	5,2	9,0
Rábano	1,2	2,0	3,1	5,0	9,0
Cebolla	1,2	1,8	2,8	4,3	7,5
Zanahoria	1,0	1,7	2,8	4,6	8,0
Judía	1,0	1,5	2,3	3,6	6,5

Tolerancia de los cultivos a la salinidad del suelo, estimada por la conductividad eléctrica del extracto acuoso a saturación de los poros. La salinidad de un suelo en regadío depende del agua de riego y de la fracción de lixiviación. La FAO utiliza una relación de concentración de 1,5, salvo en los suelos con drenaje forzado.

Fuente: Ayers y Westcott (1987).

Cuadro 14

REDUCCIÓN DE LA COSECHA SEGÚN EL GRADO DE TOLERANCIA
DE LOS CULTIVOS A LA SALINIDAD DEL SUELO
Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, CE dS/m 25°C

Cultivo	Reducción porcentual de la cosecha				
	0%	10%	25%	50%	100%
CULTIVOS FORRAJEROS					
Agropiro	7,5	9,9	13,3	19,4	31,5
Pasto de Bermudas	6,9	8,5	10,8	14,7	22,5
Raygrass inglés	5,6	6,9	8,9	12,2	19,0
Cuerniloto	5,0	6,0	7,5	10,0	15,0
Falaris	4,6	5,9	7,9	11,1	18,0
Festuca alta	3,9	5,8	8,6	13,3	23,0
Veza común	3,0	3,9	5,3	7,6	12,0
Pasto del Sudán	2,8	5,1	8,6	14,4	26,0
Alfalfa	2,0	3,4	5,4	8,8	15,5
Maíz forrajero	1,8	3,2	5,2	8,6	15,5
Trébol de Alejandría	1,5	3,2	5,9	10,3	19,0
Dactilo	1,5	3,1	5,5	9,6	17,5
Trébol Bersim	1,5	3,2	5,9	10,3	19,0
CULTIVOS FRUTALES					
Palmera datilera	4,0	6,8	10,9	17,9	32,0
Granado					
Higuera	2,7	3,8	5,5	8,4	14,0
Olivo					
Pomelo	1,8	2,4	3,4	4,9	8,0
Limonero	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Naranjo	1,7	2,3	3,2	4,8	8,0
Manzano	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Peral					
Nogal	1,7	2,3	3,3	4,8	8,0
Melocotonero	1,7	2,2	2,9	4,1	6,5
Albaricoquero	1,6	2,0	2,6	3,7	6,0
Ciruelo	1,5	2,1	2,9	4,3	7,0
Víñedo	1,5	2,5	4,1	6,7	12,0
Almendro	1,5	2,0	2,8	4,1	7,0
Aguacate	1,3	1,8	2,5	3,7	6,0
Fresa	1,0	1,3	1,8	2,5	4,0

Tolerancia de los cultivos a la salinidad del suelo regado y drenado con relación de concentración de 1,5.

Fuente: Ayers y Westcott (1987).

La *mejora animal* ha ocasionado el desplazamiento de las razas campearas por otras selectas. La *nutrición* se ha racionalizado a partir de la adaptación del ganado a algunas características como el contenido en fibra bruta de los alimentos (Fraga et al. 1984). El valor nutritivo depende del coeficiente de digestibilidad (Gálvez 1978) y del contenido en energía y en proteína, cuya eficacia se relaciona con los aminoácidos esenciales (Lewis y Caja 1978).

La superficie dedicada a prados y pastos naturales ha disminuido en las últimas décadas, a diferencia de los cultivos forrajeros que han aumentado. La producción de cereales para piensos y la de girasol han aumentado en mayor proporción que las superficies de estos cultivos, lo que revela el incremento de la productividad. Las importaciones de maíz y de soja también han aumentado, lo que se ha traducido en una mayor producción de carne (cuadro 15).

Cuadro 15

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CARNE (10⁶ kg)
EN ESPAÑA DESDE 1950 HASTA 1980

Especie	1950	1960	1970	1980
Porcino	140	260	490	1.020
Aves	10	10	500	880
Bovino	90	160	310	420
Ovino	70	110	130	130
Conejos	3	5	25	130
Caprino	15	10	15	10

Evolución de la producción de carne en España en millones de kilogramos.

Problemática actual sobre la estabilidad de los sistemas agrarios mediterráneos

La problemática actual plantea la estabilidad de los sistemas agrarios mediterráneos como un asunto de *sustentabilidad* frente a la degradación de los recursos naturales. En esta sustentabilidad radica en gran medida el éxito de los programas de desarrollo con *crecimiento sostenido*. La formación de esta idea arranca con la promulgación de la Ley Federal de *Conservación de Suelos* de los EEUU, del 27.04.1935, donde se considera que «la erosión de los suelos es una amenaza para el bienestar nacional».

La idea avanza en otros países como Australia, donde se limita la carga ganadera de ovejas (1939); en Méjico se promulga la Ley de Conservación

de Suelos y Aguas (1945); y en España se promulga la Ley de Conservación y Mejora de los Suelos Agrícolas (20.07.1955). La *Constitución de 1978* en su artículo 45.2 establece que «los poderes públicos velarán por la utilización racional de todos los recursos naturales con el fin de proteger y mejorar la calidad de la vida y defender y restaurar el medio ambiente, apoyándose en la indispensable solidaridad colectiva»; y la Ley 4.89 de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y la Fauna Silvestres establece la utilización ordenada de los recursos, garantizando el aprovechamiento sostenido de las especies y de los ecosistemas, su restauración y mejora.

La *erosión* no es el único causante de la degradación del suelo y el ambiente; la *eutrofización* o aumento exagerado de la materia y de los nutrientes, y la *contaminación* por sustancias orgánicas y minerales extrañas, como los elementos pesados tóxicos, también han venido a incidir sobre los recursos y el ambiente. La dimensión del problema ha superado el nivel crítico, de manera que los residuos sólidos y líquidos superan la capacidad de depuración y absorción de los agrosistemas y ecosistemas edáficos y acuícolas (Gascó et al., 1992).

La degradación por erosión, eutrofización y contaminación aconsejan el *planteamiento integrado* de los recursos naturales y los residuos para evitar que la crisis continúe hasta alcanzar los niveles catastróficos. La complementariedad en la composición y propiedades de los residuos urbanos y agrarios favorece la idea de su tratamiento conjunto.

El nivel de *sustancias tóxicas* es hoy un objeto de atención ordinaria en el diagnóstico ambiental y alimentario. El aumento de sustancias extrañas en la cadena trófica ha estimulado a los partidarios de la agricultura ecológica, también llamada biológica u orgánica, cuya finalidad es conseguir una moderna agricultura sin agroquímicos artificiales y con laboreo nulo. Cabe resaltar, por ejemplo, el avance en la investigación de las micorrizas como modificadores de la fertilidad del suelo (Barea, 1991).

La *intensificación* agraria, con el acoplamiento de los recursos naturales de clima, suelo, agua y vegetación seleccionada, ha avanzado paralelamente a la *extensificación* y el abandono del cultivo de las tierras marginales. El turismo rural aparece como un nuevo uso con calidad dependiente del nivel de respeto y comprensión de los ecosistemas naturales.

El flujo de materia orgánica desde la actividad agraria extensiva hacia la intensiva es insuficiente para satisfacer sus necesidades nutritivas, por lo que ha crecido el mercado de agroquímicos artificiales, de suelos artificiales o sustratos, y de sus integrantes, como turba, arena y arcilla expandida, paralelamente al aumento de la demanda de semillas selectas y plásticos para facilitar el *ambiente controlado*.

Desde el punto de vista de los planteamientos económicos, al amparo del librecomercio mundial, tras los acuerdos del GATT de 1993, el reto que

se anuncia es el de la *competitividad* de la empresa agraria más o menos multinacional. La respuesta a este reto debe ser positiva en el ambiente mediterráneo, donde no sólo se puede alcanzar el nivel económico medio: comprando materias primas en el mundo, elaborando productos para satisfacer al mercado internacional y vendiendo los citados productos, sino que se puede superar dicho nivel medio: aprovechando los nichos ecológicos de calidad, que se encuentran en un ambiente tan diverso. La alternativa al desarrollo agrario en competencia es el paro y el éxodo rural; y la alternativa al nivel de la calidad es la pérdida de los rasgos culturales tradicionales. El equilibrio entre cantidad y calidad constituye un ejercicio de política agroeconómica mediterránea.

Bibliografía

- ALMOROX, J. (1993): «La erosión hídrica en un ambiente mediterráneo. Discusión metodológica y aplicación al término de Alcalá del Valle (Cádiz)». Tesis doctoral, ETSIA, Universidad Politécnica de Madrid.
- AYERS, R. S., y WESTCOT, D. W. (1987): «La calidad del agua para la agricultura». *Estudios FAO*, número 29, Roma.
- BAREA, J. M. (1991): «Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility». *Advances in Soil Science*, núm. 15, pp. 1-31, Springer, Berlín.
- DÍEZ, F. (1992): *La España del regadío y sus instituciones básicas*. Federación Nacional de Comunidades de Regantes, Madrid.
- DOOREMBO, J. y PRUITT, W. O. (1976): «Las necesidades de agua de los cultivos». *Estudios FAO: riego y drenaje*, núm. 24, Roma.
- ELÍAS, F. y GIMÉNEZ, R. (1965): *Evapotranspiraciones potenciales y balances de agua en España*. Mapa Agronómico Nacional, Dirección General de Agricultura, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- FRAGA, M. J.; DE BLAS, C.; BUXTADE, C., y PÉREZ, E. (1984): *Alimentos del ganado*. Monografía de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, referencia R.179-b/600, Madrid.
- GÁLVEZ, J. F. (1968): *Tabla de composición de los distintos alimentos para el ganado con los coeficientes de digestibilidad observados en los rumiantes*. Monografía de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, referencias R.6 y R.26, Madrid.
- GASCO, J. M.^a; GONZÁLEZ, J., y SAA, A. (1992): «Los residuos sólidos urbanos en Andalucía», *Economía y Sociedad*, núm. 7, pp. 151-169, Madrid.
- GROS, A. (1957): *Engrais*. La Maison Rustique, París.
- GROS, A. (1986): *Abonos: guía práctica de la fertilización*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid.

- LEWIS, D., y CAJA, G. (1978): *Necesidades y eficacia de aminoácidos en nutrición animal*. Monografía de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, referencia R. 127-b/150, Madrid.
- MAPA (1988): *Mapa de cultivos y aprovechamientos de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- MAGISTER, M. (1991): *Conservación de suelos*. Monografía de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, referencia R. 324/1000, Madrid.
- RUSSELL, E. J., y RUSSELL, E. W. (1954): *Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas*. Editorial Aguilar, Madrid.
- TAMES, C. (1958): *Orientaciones para la fertilización y enmienda de los suelos con fines agrícolas*. Dirección General de Agricultura, Madrid.
- URBANO, P. (1990): *Aplicaciones fitotécnicas*. Editorial Mundi-Prensa, Madrid.

METODOLOGÍA PARA ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE AGUA Y NUTRIENTES DE LOS CULTIVOS BAJO INVERNADERO DE CLIMA PASIVO

José López-Gálvez
ETSIA, Universidad de Almería

1. Introducción

Las enseñanzas que se pueden extraer del sistema de producción hortícola bajo plástico existente en la zona costera de Almería son, particularmente, útiles para el propósito de este seminario. El invernadero aquí desarrollado es la consecuencia de integrar la estructura empleada para tuturar la uva de mesa, empleada por los agricultores almerienses desde principios de 1800, con el suelo enarenado. Esta tecnología local permitió obtener cosechas de primicia y mejorar el rendimiento en el uso del agua, debido a la reducción de la evapotranspiración del cultivo (Fernández *et al.*, 1995). Las nuevas mejoras que se fueron incorporando redundaron en disminuir la cantidad de agua empleada por superficie regada. Una primera contribución en este sentido la hicieron los depósitos reguladores que se fueron construyendo en la mayor parte de las fincas. Estos presentan pérdidas por evaporación que en cualquier caso son muy inferiores a las que se producirían en cola de exploración caso de no existir. No cabe duda que los sistemas de riego por goteo permiten altos rendimientos de aplicación disminuyendo las pérdidas por infiltración y por escorrentía.

La fertilización del sistema tiene su base en la importante aportación de materia orgánica. La sostenibilidad del suelo enarenado viene asegurada por la labor de «*rentranqueos*» que se hace, consistente en levantar la capa de arena, cada cierto tiempo, y reponer 100 t/ha de estiércol. Se dispone de evidencia empírica sobre parcelas que cuentan con más de cuarenta años en cultivo ininterrumpido sin que se observen pérdidas de productividad.

En esta comunicación se hará un breve comentario a los antecedentes del cultivo protegido, se describirá el sistema de producción bajo invernadero en Almería y se tratará sobre la metodología utilizada en la Estación

Experimental «Las Palmerillas» para producir la información que permita el manejo del agua y de los nutrientes con la mayor precisión que se puede obtener de los sistemas de riego y fertilización a los que tiene acceso el agricultor.

2. Antecedentes del cultivo en invernadero

La técnica de protección de los cultivos empezó a practicarse desde muy antiguo. La posibilidad de realizar el cultivo mediante abrigos transparentes era conocida por los romanos, que observaron cómo «ellos admiten el sol y el día sin sol (*luz*)» (Martialis, 93 A.D.). Los pepinos que el Emperador Tiberio necesitó para comer diariamente por prescripción médica «se cultivaban en macetas apoyadas sobre ruedas, para que pudieran transportarse al sol fácilmente y en días invernales pudieran ser retirados a abrigos transparentes» (Plinio, 77 A.D.). Séneca (63 A.D.) puso un acento crítico en esta forma de cultivo: «¿No están en contra de la Naturaleza, aquellos que desean una rosa en invierno, mediante vapor de agua caliente y una oportuna modificación del ambiente, al cultivar en período de invierno aquella flor de primavera?».

Es de general conocimiento la existencia de una larga tradición en cultivos de invernadero, coincidiendo su origen con la implantación del vidrio en la construcción. En el siglo XV aparecen las «orangeries» francesas. En ellas se trataba de disponer de los cultivos exóticos de otros climas, en particular naranjas y limones, por sus propiedades medicinales. Los primeros en disfrutar de estas construcciones fueron ricos mercaderes que mantenían relaciones comerciales con países de ultramar. A partir del siglo XVII, la nobleza y casas reinantes se interesaron por estas construcciones, utilizándolas para el cultivo de plantas recogidas en otras latitudes, para pasar posteriormente a formar parte de los jardines botánicos que se mostraban en distintas ciudades.

El empleo generalizado del vidrio y su adaptación como material de cerramiento en invernaderos permitió su construcción a mayor escala, sobre todo, por parte de viveristas y cultivadores de planta ornamental. El exponente más importante de esta técnica de cultivo se tiene en Holanda donde ya había 30 ha de invernadero en 1904 y casi 7.000 ha en 1970 (Gómez, 1993). Sin embargo, el coste del material usado para cerramiento de estos invernaderos (vidrio) y de la estructura de soporte, motivada por el peso de aquel, no ayudó a la rápida extensión de la tecnología del cultivo en invernadero.

La crisis del petróleo del año 1973 propició la realización de investigaciones encaminadas a disminuir la cantidad de energía consumida por unidad producida, consiguiéndose que el material de cerramiento tuviere una mayor transmisividad a la radiación solar y un mejor efecto termoisolante

de las radiaciones de onda larga y que fuese menos pesado, propiciando un esqueleto estructural más económico.

En las áreas españolas de inviernos suaves se han desarrollado los invernaderos de clima pasivo, también llamados fríos. Su única fuente de energía es la radiación solar, careciendo de apoyo energético complementario para modificar el clima en su interior. Las primeras construcciones, en España, se realizaron hacia 1960 en las Islas Canarias, pasando tres años después a la Península Ibérica donde se extendieron a lo largo de la costa mediterránea. La construcción comenzó siendo artesanal, y actualmente lo es en gran medida, utilizando para la realización de su estructura madera, hierro, tubo galvanizado, viguetas de hormigón y para el cerramiento película de material flexible de plástico que se sujeta a la estructura mediante malla de alambre o cogido a la estructura mediante distintos procedimientos. Esta técnica de cultivo empezó a realizarse en Almería el año 1963.

La expansión de estos invernaderos fue lenta hasta el final de la década de los 70, por la problemática que planteaban las películas plásticas (escasa anchura, espesor heterogéneo y rápido envejecimiento). A principios de los años 80 la industria petroquímica desarrolló y puso en el mercado una gama de materiales que mejoró notablemente la productividad de estos invernaderos, siendo a partir de este momento cuando se produjo un aumento espectacular de la superficie ocupada por los mismos.

Esta nueva tecnología se situó en zonas áridas del territorio español que se caracterizan por la escasez de recursos hídricos y de suelos fértiles. En estas circunstancias, es preciso poner a disposición del agricultor datos de base que le permitan elaborar estrategias para manejar adecuadamente el agua y buscar alternativas a la carencia de suelo.

3. El sistema de producción bajo invernadero en Almería

La agricultura tradicional pone un énfasis en suelo, clima y agua. La presencia de condiciones desfavorables en alguno de estos factores limita el potencial de diversas prácticas agrarias convencionales, hasta el punto de que éstas llegan a perder su interés económico. Es el caso en muchas zonas áridas y, en particular, en extensas áreas de la costa almeriense. La mala calidad de suelos y la extrema escasez e irregularidad de lluvias, junto a los pocos recursos hídricos superficiales, así como vientos fuertes frecuentes, determinan el difícil aprovechamiento agrícola de muchas tierras de Almería, a pesar de que su medio natural también está condicionado por temperaturas relativamente suaves y por una insolación excelente. La dureza de las condiciones desfavorables enunciadas determinan en la región un cierto carácter desértico.

Un esfuerzo acumulado a lo largo de siglos va permitiendo invertir el signo negativo del panorama descrito: convirtiendo algunas limitaciones en

ventajas, ha desarrollado una agricultura poco convencional, sostenida por la aplicación de agua y nutrientes a un medio en el que las condiciones naturales del sistema suelo-clima han sido parcialmente controladas. La clave del éxito reside en relacionar de modo apropiado el control del suelo (con cultivo enarenado), el control de agua y nutrientes (con riego por goteo) y el control del ambiente (con invernaderos de plástico «tipo parral»). La espectacularidad del resultado justifica la inmodestia de asignar al conjunto de las técnicas aplicadas una categoría de tecnología nacional.

Los campos de cultivo se estructuran en unidades de riego protegidas bajo plástico. A este efecto, películas de plástico sostenidas por estructuras de alambre inspiradas en la utilizada en los parrales (técnica de conducción del cultivo de uva de mesa) actúan como cubierta que mantiene un entorno cerrado, con su microclima parcialmente controlado. Se reduce en éste la evapotranspiración del cultivo, se limitan los daños del viento y se mejora ligeramente su régimen térmico.

En todo caso, antes de su construcción, el suelo se «hace». Para su preparación se incluyen usualmente, además de las labores de subsolado y explotación, el aporte de una capa de tierra vegetal de unos 20 cm de espesor con la que se mezclan 5 kg de estiércol por m² de suelo. A continuación se aplica otra capa de unos 2 cm de estiércol (aproximadamente 5 kg/m²) y finalmente una capa de unos 10 cm de arena de playa, con lo que se configura un suelo con cuatro estratos claramente diferenciados, tanto desde el punto de vista físico como de su composición química. El suelo así preparado dura entre 3 y 5 años, pasados los cuales se inicia la operación de «retranqueo». Esta técnica de cultivo, que empezó a emplearse a partir de los años 50, ofrece ventajas significativas al conseguir cosechas precoces y elevadas con un alto rendimiento en el uso del agua, al evitar pérdidas por evaporación, permitiendo la utilización, con rendimientos aceptables, de aguas salinas. Además, el fuerte estercolado permite suplir las deficiencias en los nutrientes aplicados al cultivo.

En cuanto al riego por goteo, éste permite la aplicación de agua y nutrientes a pie de planta, con la frecuencia precisa. De esta manera, aunque el suelo sigue desempeñando las funciones de soporte mecánico del cultivo y de medio para el transporte de agua y nutrientes, pierde importancia como almacén de reserva de éstos. El empleo de sustratos pretende ir un paso más allá, al promover cultivos que prescindan del suelo natural para cualquier otra función que la de apoyo.

4. Metodología para la investigación de la mejora del riego

Un programa de investigación que tenga como finalidad optimizar el manejo del agua en el sistema agrario descrito debe buscar, de una parte,

sacar el mayor partido posible del uso del agua en términos físicos y monetarios, y de otra, mantener a largo plazo un balance de sales adecuado en la zona ocupada por las raíces de las plantas. Para ello precisamos conocer: cantidad de agua que debe aportarse al cultivo, frecuencia de aportación y modo de aplicación.

4.1 Determinación de los consumos hídricos de los cultivos bajo invernadero

La cantidad de agua que consume un cultivo se puede conocer experimentalmente. El consumo neto o evapotranspiración (ET_c), se relaciona con un valor de referencia (ET_o) mediante la fórmula:

$$ET_c = k_e ET_o$$

La evapotranspiración de referencia (ET_o) ha sido definida como la evapotranspiración de una pradera de gramíneas de unos 15 cm de altura, que cubre una superficie extensa de terreno y cuyo crecimiento no está limitado por agua, nutrientes, plagas o enfermedades.

El coeficiente de cultivo adimensional (k_e) relaciona la ET_c y la ET_o, depende del clima y del tipo de cultivo pero es variable a lo largo del ciclo de desarrollo del mismo. En los últimos años se han realizado esfuerzos apreciables para la determinación de los consumos de agua de los cultivos bajo invernadero en Almería (Castilla, 1986; López-Gálvez *et al.*, 1990). Sin embargo, la inexistencia de datos de ET_o ha impedido separar los efectos del clima y del cultivo, siendo imposible generalizar los procedimientos de cálculo de los consumos hídricos de los cultivos en distintas condiciones (fecha de siembra, tipo de invernadero, material de cerramiento, etc.)

La determinación de la ET se puede efectuar utilizando métodos hidrológicos. Los procedimientos disponibles exigen el uso de lisímetros. Éstos permiten medir todos los términos de la ecuación del balance:

$$ET = R - (E + P + \Delta H)$$

ET = Evapotranspiración

R = Aportación de agua mediante lluvias o riegos

E = Escorrentía

ΔH = Variación de humedad en el suelo

Los lisímetros, además, permiten comprobar los métodos micrometeorológicos y la calibración de fórmulas empíricas que estiman la ET.

Para las medidas de ET_o la Estación Experimental «Las Palmerillas» dispone de un invernadero en el que hay colocada una estación meteorológica.

ca automática, con un cultivo de pradera provisto de lisímetros de drenaje con sensores para medir la humedad volumétrica. Este equipamiento permite la obtención de ETo y la calibración de fórmulas empíricas. Fernández *et al.* (1994) han determinado la ETo en este invernadero y han calibrado algunas fórmulas empíricas de estima de la ET , mostrando en sus conclusiones que:

1. El invernadero modifica el ambiente interior respecto al exterior, reduciendo la radiación, el déficit de presión de vapor y anulando la velocidad del viento. Como consecuencia la demanda evaporativa en el interior es inferior a la exterior, por lo que el invernadero se puede considerar un sistema productivo eficiente para reducir el consumo de agua de los cultivos.
2. El patrón estacional de la ETo en invernadero es similar a los de radiación solar y evaporación desde tanque.
3. La comparación entre los valores medidos de ETo y los estimados mediante distintos métodos permite concluir:

- El método de Hargreaves proporciona estimaciones de la ETo muy superiores a los medidos, debido al salto térmico que se produce en el invernadero.

- Los métodos de Penman-FAO, Radiación-FAO y FAO-Tanque Clase A proporcionaron estimaciones de similar precisión a corto y largo plazo.

- Dada la relativa dificultad de disponer de datos climáticos y de Eo medidos en el interior de invernadero, se propone como método más factible para la estimación de la ETo en estas condiciones la expresión de radiación, usando datos medidos en el exterior y afectados por un coeficiente función del material de cubierta.

La misma instrumentación se utilizó para la determinación de la ETc , disponiendo de 6 lisímetros de drenaje por invernadero situados en su lado sur. Los lisímetros empleados se han construido con láminas flexibles de caucho butilo, de 0,6 mm de espesor, con superficie en planta de 4 x 2 m y profundidad de 0,5 - 0,6 m por debajo de la capa de materia orgánica, provistos de tubos de evacuación de aguas de lixiviado. Las pendientes convergentes del fondo del lisímetro facilitan la evacuación por el tubo perforado colector.

4.2. Frecuencia de riego

Con sistemas de riego que permitan una alta frecuencia de aplicación de agua, sin aumentar las necesidades de mano de obra, parecería que la determinación del intervalo entre riegos debería ser fijada en base a criterios de operatividad. Pero si tenemos presente que muchos invernaderos dispo-

nen de un escaso volumen de suelo y, consecuentemente una escasa posibilidad de retener agua y nutrientes, veremos que fijar el intervalo óptimo entre riegos tiene una importancia primordial por un doble motivo:

1. Aproximar la extracción de agua y nutrientes a las necesidades reales de los cultivos a lo largo de su ciclo.
2. Evitar que, como consecuencia de aportaciones puntuales excesivas, se puedan producir abundantes lixiviados, con pérdidas de agua y nutrientes que van a provocar resultados económicos no deseables tanto para la explotación como para el ecosistema, en este último caso por la contaminación de los recursos hídricos superficiales y profundos.

Gallego *et al.* (1994) concluyen que la alta frecuencia de riego, aplicando la misma cantidad de agua, no ha producido, en un cultivo de pepino, mayores cosechas pero sí una considerable disminución de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación que pasó de 2,1 g/m² en el tratamiento de mayor frecuencia a 12,8 g/m² en el de menor.

4.3. Uniformidad en la aplicación del agua

Conocida la cantidad de agua que requiere el cultivo y la frecuencia de riego, se precisa saber si ésta se aplica de manera uniforme en toda la superficie de la parcela. En el caso de cultivos en invernadero con sistemas de riego por goteo donde la explotación dispone de agua a la demanda y sin grandes problemas de variabilidad espacial del suelo, es fácil medir el agua aportada a la parcela, y conocer si ésta se aplica uniformemente. Desde la Estación Experimental «Las Palmerillas» se ha propuesto el método FAO de evaluación de instalaciones de riego por goteo, que aparece descrito en una serie de fichas divulgadoras editadas por Caja Rural de Almería. No obstante los sistemas de riego por goteo precisan ser evaluados con bastante frecuencia debido al riesgo de obturación de los emisores.

En este momento y dentro de la segunda parte del «Programa de investigación dirigido a evaluar respuestas productivas al agua de los cultivos protegidos de mayor interés económico en el área mediterránea» los ensayos que se realizan incluyen pruebas de:

1. Estudio estadístico del comportamiento de diferentes tipos de goteos (fórmulas de gasto y coeficientes de variación).
2. Determinación de las fórmulas de gasto más adecuadas para describir el comportamiento hidráulico de ramales de goteo, siguiendo el procedimiento descrito por Losada *et al.* (1995).
3. Ajuste de los parámetros a introducir en modelos hidráulicos de sistemas tipo invernadero.

4. Además, se pretende que los regantes puedan apreciar, directamente, la respuesta de diferentes materiales de goteo servidos por el mercado. Así mismo, podrán interpretarse las consecuencias prácticas, tanto desde el punto de vista de la producción como del coste imputable a los riegos aplicados, de que sean modificadas la presión de servicio y el tiempo de operación.

4.4. Movimiento de agua y sales con riego por goteo

Las aguas de riego contienen en mayor o menor medida sales en disolución. La forma en que se distribuyen en un perfil de suelo, para una misma zona agroclimática, depende básicamente de su textura, del sistema de riego empleado, de la fracción de lavado y de la distribución radical. Los sistemas de riego de cobertura total (inundación o aspersión) mojan toda la parcela regada mientras que con sistemas de goteo se riega una parte.

Los factores que influyen en el proceso de infiltración en sistemas de goteo son fundamentalmente el caudal de descarga del emisor, las propiedades hidráulicas del suelo y la intensidad de evaporación en la superficie del suelo. En el caso de los invernaderos con suelo enarenado este último aspecto tiene una escasa importancia. Para un mismo suelo los patrones de distribución del agua dependerán del caudal de descarga y del tiempo de riego. La mayor o menor densidad de emisores modifica los patrones descritos pudiendo solaparse los bulbos formados por emisores contiguos. Las sales disueltas tienden a acumularse en la periferia del bulbo donde el contenido en agua del suelo es menor, especialmente en la superficie. Para evitar los problemas derivados de la acumulación de sales a largo plazo y ante la imposibilidad de un lavado eficiente utilizando este sistema de riego, es conveniente para esta operación utilizar sistemas de inundación o aspersión. La frecuencia de lavado será función de la calidad del agua y de la textura del suelo.

5. Suelo

5.1. Características generales del suelo

Las características generales que debe presentar un *buen suelo de cultivo* son:

Propiedades físicas: De las propiedades físicas del suelo cabe resaltar la importancia de la estructura ya que influye en la aireación, en la resistencia de la penetración de las raíces, resistencia a la erosión, interviene en el lavado de suelos, así como en la permeabilidad.

Propiedades químicas: Desde el punto de vista químico la reacción del suelo, es decir el pH, es una de las características más importantes que influyen en la nutrición: solubilidad de nutrientes, productos tóxicos, desarrollo de microorganismos, humificación y mineralización de materia orgánica. Los valores del pH del suelo agrícola suelen oscilar entre 3 y 11. El pH ideal sería neutro, entre 6,5 y 7,5. La conductividad eléctrica del extracto de saturación no debe superar valores de 4 dS/m.

5.2. Características del suelo enarenado

Propiedades físicas: Las texturas de los diversos horizontes son franco-limosas en el suelo aportado y de francas a franco-arenosas en el suelo original con estructura cúbica.

Propiedades químicas: El pH de los distintos horizontes del perfil están alrededor de 8. La conductividad eléctrica del extracto de saturación está en torno a valores de 4 dS/m; el complejo de cambio está dominado por el calcio y el magnesio.

En cultivo enarenado, donde la estratificación de horizontes en el perfil del suelo produce bajas intensidades de infiltración y el acolchado de arena reduce notablemente la evaporación desde el suelo, los altos valores de densidad radicalmente encontradas de la interfaz arena-suelo pueden tener interés para mejorar la aireación radical en condiciones de suelo saturado y disminuir los problemas derivados de la salinidad (Castilla, 1986).

5.3. Características de los sustratos

Propiedades físicas:

A) Perlita: Es un material muy ligero, su densidad oscila entre 80 y 100 kg/m³, de escasa resistencia mecánica y muy poroso. La granulometría comúnmente usada tiene entre 1 y 3,5 mm de diámetro. Debido a su gran porosidad, su acción capilar es muy fuerte y puede retener hasta 4 veces su peso en agua. La retención de agua y la aireación depende de la granulometría, siendo mayor el riesgo de asfixia radical con el exceso de partículas finas que retienen más agua y dificultan la aireación. Presenta baja conductividad térmica siendo su coeficiente de 0,033 kcal/m² h °C.

B) Lana de roca: Destaca por su alta porosidad. Su densidad es pequeña, variando entre 80 y 100 kg/m³, según los diferentes sistemas de fabricación. Es muy poco rígida, con estabilidad mecánica bastante mediocre, por lo que su duración se reduce a 2 ó 3 cultivos. Sin embargo, su poco peso favorece su fácil manejo. Por todo ello su presentación comercial se suele hacer en forma de *tablas* rectangulares.

Propiedades químicas: Son prácticamente inertes, sin capacidad de intercambio iónico.

6. Fertilización de los cultivos

La mayoría de las plantas herbáceas, cultivadas en invernadero, están formadas en un 90% por agua (ver cuadro 6.1).

Cuadro 6.1

COMPOSICIÓN DEL TOTAL DE ÓRGANOS AÉREOS DE JUDÍA CULTIVADA SOBRE SUELO ANARENADO (CV. STRIKE COSECHA 19 t/ha Y CV. HELDA 45 t/ha) Y DE TOMATE CULTIVADO EN DISTINTO MEDIO (ENARENADO CV. VEMONE COSECHA 84 t/ha Y SUSTRATO CV. DANIELA COSECHA 170 t/ha)

Elementos %	Judía			Tomate		
	cv. Strike	cv. Helda	cv. Vemone	cv. Daniela	cv. Daniela	cv. Daniela
Agua	87,6	85,7	92,3	91,1	91,1	91,1
Mat. seca	12,4	14,3	7,7	8,9	8,9	8,9
C, H y O ≈	90	90	90	90	90	90
Nitrógeno	2,96	2,83	2,34	2,09	2,09	2,09
Fósforo	0,35	0,32	0,35	0,54	0,54	0,54
Potasio	3,55	3,58	3,30	3,70	3,70	3,70
Calcio	1,32	0,86	1,39	1,30	1,30	1,30
Magnesio	0,60	0,58	0,68	0,55	0,55	0,55
Resto	0,82	1,43	1,34	1,22	1,22	1,22

Nota: Datos obtenidos experimentalmente en la estación experimental «Las Palmerillas».

La materia seca sólo constituye el 10% del peso total de la planta y de éste un 90% es debido al contenido en carbono, hidrógeno y oxígeno. El carbono y parte del oxígeno provienen del anhídrido carbónico (CO₂) del aire, mientras que el hidrógeno y el resto del oxígeno provienen del agua. En los invernaderos son comunes las deficiencias en carbono, aspecto que es necesario tener en cuenta al objeto de mejorar la productividad de los cultivos. A este respecto conviene tener presente el contenido de CO₂ en el aire ya que las plantas lo precisan para realizar la fotosíntesis. Con valores óptimos de luz, temperatura y humedad, la mayoría de las plantas cultiva-

das necesitarían para un buen rendimiento de la fotosíntesis, concentraciones de CO₂ en el aire superiores a las 700 ppm pero la cantidad disponible no supera los 350 ppm. Las cifras anteriores ponen de manifiesto el importante papel que como macronutrientes para el cultivo juega el anhídrido carbónico. El 10% del restante peso seco de la planta está compuesto por distintos elementos esenciales (macro y micronutrientes) que deben ser suministrados mediante un adecuado programa de fertilización. Éste se realiza aportando parte o todos los nutrientes al suelo antes de la siembra o plantación (abonado de fondo) o durante el ciclo de cultivo (abonado de cobertura). En este último caso, en los regadíos, los fertilizantes se incorporan con el agua de riego, precisándose de una programación simultánea de agua y nutrientes denominada fertirrigación.

Genéricamente se suele decir que un suelo, en la zona ocupada por el sistema radical de la planta, contiene macro y microelementos en cantidades superiores a las extracciones de los cultivos. El problema estriba en que éstos no siempre se encuentran en sus formas asimilables por diversas y complejas causas, de aquí las situaciones de carencia de algún elemento que se pueden observar en las plantaciones. Es necesario estudiar mejor el comportamiento de los distintos elementos con el fin de movilizarlos de los existentes en el suelo para que puedan ser asimilados por la planta. Este hecho exigiría una cultura en relación con la práctica agraria distinta de la actual en labores, fertilización y riegos. Llama la atención que suelos enarenados cultivados durante más de cuarenta años, con gran intensificación de cultivos, y utilizando en algunas ocasiones aguas de elevada salinidad, conserven un alto potencial productivo que se ha podido mantener gracias a las aportaciones de estiércol, 100 t/ha cada 3 ó 5 años.

Los programas para reponer al suelo los elementos nutritivos, gastados durante el ciclo de cultivo, utilizando fertilizantes químicos, empiezan a realizarse a finales del siglo pasado. Con anterioridad, la práctica consistía en aportar periódicamente materia orgánica al suelo, o en establecer rotaciones de cultivos o prácticas de ocupación del suelo (año y vez, al tercio, etc.) que trataban de mantener la fertilidad para la posterior siembra. La llegada de los fertilizantes químicos trae como consecuencia que las técnicas citadas vayan cayendo en desuso, consiguiéndose intensificar la ocupación del suelo e incluso disminuir o anular la aportación de materia orgánica. Este hecho provoca la alteración de la estructura del suelo, dificultando el aprovechamiento de los fertilizantes minerales, dado que la función de la materia orgánica es, además de suministrar nutrientes, mantener la estructura del suelo.

La programación de la fertilización en invernaderos, actualmente, es muy dependiente de la técnica de cultivo que se esté utilizando. Las plantas necesitan una serie de elementos esenciales para el desarrollo de su ciclo vital, de los cuales, seis son requeridos en cantidades relativamente grandes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre y se denominan *macronu-*

trientes; y otros como hierro, manganeso, cobre, cinc, boro, molibdeno y cloro se requieren en cantidades muy pequeñas y se les llama *micronutrientes*. En los suelos se encuentran presentes cantidades relativamente grandes de estos elementos, pero a veces las plantas no pueden disponer de ellos, ya que no se encuentran en formas asimilables, bien por presentarse formando compuestos insolubles debido al pH¹ o bien por no mantener un equilibrio adecuado con los otros elementos esenciales. En los cultivos en sustratos debemos aportar estos elementos en la solución nutritiva. Normalmente se adicionan en forma de quelatos para eliminar estos problemas.

Un programa de abonado debe tener en cuenta las siguientes variables:

- Especie y variedad de la planta.
- Medio de cultivo.
- Estado fenológico de la planta.
- Ciclo de cultivo.
- Sistema de riego.
- Contenido en nutrientes del suelo o sustrato.

Otro factor a tener en cuenta es la aportación de iones² por el agua de riego, que debemos considerar al programar la fertilización. La utilización de aguas salinas afecta al potencial hídrico en la planta; al disminuir el potencial osmótico, disminuyendo la transpiración. También las altas concentraciones de Na⁺ y Cl⁻, presentes en bastantes aguas, repercuten en la absorción de potasio y de nitrógeno, además del efecto tóxico específico de esos y otros iones.

6.1. Fertilización del suelo. Estructura de suelo, enarenado y sustratos

En los invernaderos, inicialmente, se conseguía un adecuado mantenimiento de la fertilidad de los suelos con aportaciones periódicas de materia

¹ El pH da la presencia de H⁺ en el complejo absorbente o en la solución del suelo, en el caso de los suelos suele oscilar entre 3-11. La reacción del suelo condiciona de forma decisiva, no sólo la vida de los microorganismos y los procesos en los que ellos intervienen, sino también la mayor o menor asimilabilidad de muchos elementos químicos que para la planta son esenciales, y la de otros que a determinadas concentraciones pueden resultar tóxicos y producir en ella graves alteraciones. Como ejemplo de pH y disponibilidad de nutrientes pondremos el del fósforo: a pH inferior a 6,5 el hierro y el aluminio se encuentran solubilizados tanto más cuanto menor es el pH, y provocan la precipitación del fósforo como fosfatos insolubles; entre pH = 6,5-7 la utilización del fósforo es máxima, a pH superior a 7,5 el calcio provoca su precipitación.

² Intercambio iónico: Los materiales constitutivos del suelo pueden encontrarse en estado disperso o floculado (arcilla y humus principalmente), la presencia de cargas negativas en su superficie determina el que cada partícula se rodee de un número de cationes que están en equilibrio con el elemento en la solución y, por tanto, susceptibles de restablecer el equilibrio compensando total o parcialmente las pérdidas del mismo de la solución, por la absorción de la planta. Igual sucede con los aniones, al conjunto de estos procesos se designa con el nombre de intercambio iónico, su importancia es trascendental por su influencia sobre las propiedades físico-químicas del suelo, en la alimentación de las plantas, en las enmiendas, y en el modo de obrar de ser retenidos los fertilizantes que se le agreguen.

orgánica. La programación de la fertilización se realizaba incorporando como abonado de fondo (previo a la siembra o trasplante) todo el fósforo y el potasio, así como una parte del nitrógeno. El fósforo y el potasio se pueden considerar como nutrientes poco móviles, ya que los fosfatos son fuertemente adsorbidos por el suelo o precipitan formando sales de muy baja solubilidad, dificultando su movimiento, mientras que el catión potasio es retenido por el complejo de cambio.

El nitrógeno de fondo, cuando se aporta en forma de ion (NH₄)³, también es retenido por el complejo de cambio, aunque en suelos de mineralogía ilítica particularmente, una fracción puede ser fijada por las arcillas en forma poco asimilable. El nitrógeno de la urea⁴ tiene un comportamiento análogo al de los abonos amoniacales. Cuando el nitrógeno se aporta en forma de nitratos, éstos se mantienen en la solución del suelo y pueden concentrarse en la superficie por ascenso capilar o perderse fuera del alcance de las raíces por lixiviación. La cantidad restante de fertilizante nitrogenado se aportaba a lo largo del ciclo de cultivo.

En la actualidad, el grado de fertilidad de los suelos es bajo, debido a la menor aportación de estiércol, y a la mayor intensificación de los cultivos. En consecuencia es necesario aportar al cultivo los nutrientes para cubrir sus necesidades, estos se aplican con el riego.

Consideraciones de índole técnico-económica pueden hacer aconsejables utilizar macronutrientes como fertilizantes de fondo y para ello se pueden emplear fertilizantes de lenta liberación.

6.2. Fertilización de los sustratos

La técnica de cultivo en agua, con o sin sustrato, ya se utilizaba en el siglo XVII para estudiar los requerimientos en fertilizantes de las plantas.

Las soluciones de nutrientes tienen que aportar el agua y los elementos minerales que necesita el cultivo para su normal desarrollo. Hay dos aspectos fundamentales a tener en cuenta: los abonos utilizados para aportar macronutrientes tienen que ser muy solubles y la solución nutritiva tiene que adecuarse en su composición a las necesidades concretas de la planta en cada momento. Es evidente que no existe una solución universal que se pueda aplicar a todas las especies, ya que cada una tiene requerimientos concretos. Todas las soluciones deben llevar los macro y micronutrientes que precisen los cultivos. Los macronutrientes en forma de nitrato cálcico, nitrato potásico, sulfato amónico, nitrato amónico, sulfato potásico, fosfato potásico y sulfato magnésico, y algunos micronutrientes como el boro y

³ Ion amonio: por ejemplo, abonado como sulfato amónico o como nitrato amónico.

⁴ La urea es un fertilizante nitrogenado cuya fórmula química es NH₂-CO-NH₂.

el molibdeno se aportan como sales, los restantes micronutrientes, fundamentalmente, hierro, cinc, manganeso y cobre, se aportan en forma de quelato.

Sabido es que buena parte de las especies tiene su óptimo de desarrollo en medio neutro o ligeramente ácido (pH 5 a 7). Por esta razón, otro aspecto a tener presente es el pH de la solución, debido a que éste afecta a la solubilidad y forma de los iones, lo que va a influir sobre la asimilabilidad de los mismos. Así, el hierro, manganeso, cinc y cobre, a pH básico, precipitan formando hidróxidos insolubles que no están disponibles para la planta. El fósforo, dependiendo de la acidez del medio, se puede encontrar bajo tres formas diferentes: PO_4H_2^- , forma predominante cuando el medio es ácido y es la más asimilable por la planta, PO_4H^- que predomina en medio básico y PO_4^{3-} con $\text{pH} > 9$. Además, el pH influye sobre el transporte de iones a través de las paredes celulares de la raíz de la planta. Para disminuir el pH del agua de riego se adiciona un ácido, siendo el más utilizado el ácido nítrico que, aparte de bajar el pH, aporta nitrógeno.

La nutrición vegetal es, por tanto, la base de la hidroponía. Cualquiera que intente emplear técnicas hidropónicas deberá tener suficientes conocimientos de nutrición vegetal. La nutrición de las plantas por medio de la utilización de soluciones de nutrientes será la llave del éxito en los cultivos hidropónicos.

6.3. Fertilización carbónica

Los invernaderos pasivos plantean el problema generalizado de su escasa ventilación. La baja relación entre la superficie de ventana y superficie cultivada, y el volumen ocupado por la vegetación de los cultivos, de crecimiento indeterminado, limitan la renovación de aire. En estas condiciones las concentraciones de CO_2 , durante las horas diurnas pueden ser un 20% inferiores a las del exterior, ocasionando una importante disminución de la fotosíntesis. Dado que cualquier sistema productivo se desarrolla a la velocidad del factor limitante parece razonable pensar que la fertilización carbónica pueda limitar el desarrollo de los cultivos. Es aconsejable mejorar los sistemas de ventilación, incorporando ventanas cenitales y llevar la concentración de CO_2 , en invernadero, a valores próximos a los ambientales (350 ppm).

La materia orgánica juega un importante papel en la fertilización carbónica ya que en su descomposición como en el aumento de la actividad microbiana que tiene lugar en el suelo, provoca el incremento en el contenido del CO_2 del aire con la consecuente repercusión de incremento en el rendimiento de los cultivos. Cuando las plantas se cultivan en suelos con abundante materia orgánica, y se fertilizan con abonado orgánico la con-

centración de anhídrido carbónico en el invernadero puede ser tres veces superior a la exterior (Moe y Mortensen, 1986).

7. Trabajos experimentales

Los ensayos que se relatan a continuación se han realizado en un suelo enarenado, constituido sobre un suelo «Typic Paleorthid» al que se aporta 10 kg/m² de estiércol.

Cuadro 7.1

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO ENARENADO

	Espesor	Extracto 1:2,5		% Caliza		% Carbono orgánico			C.I.C.	
		C.E.	pH	Total	Activa	Total	EHT	AH	AF	mg/100 g
		$\mu\text{S/cm}$								
Arena	10	1.175	7,95	5,45	1,83	0,12	-	-	-	
Interfase	2	250	8,21	10,01	2,88	1,60	0,19	0,17	0,02	
Suelo aportado	20	240	8,39	25,85	7,77	0,41	0,04	0,04	0	
Suelo natural	↓	290	8,38	27,59	9,32	0,72	-	-	-	
									6,75	

EHT: Extracto húmico total. Sustancias húmicas solubles en álcalis.
AH: Ácidos húmicos. Fracción que siendo soluble en álcalis precipita en medio ácido.³
AF: Ácidos fúlvicos. Fracción que es soluble en ácido y base.
C.I.C.: Capacidad de intercambio catiónico⁶.

Cuadro 7.2

CONTENIDO EN MACROELEMENTOS (g/kg) DEL ESTIÉRCOL UTILIZADO

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
11,78	9,13	16,44	10,52	3,53

³ Los ácidos húmicos presentan, frente a los fúlvicos notables diferencias en algunas de sus características analíticas como son: mayor grado de polimerización, pesos moleculares más elevados, menor acidez total, porcentaje de carbono y nitrógeno superiores y menor porcentaje de H, O y S.

⁶ C.I.C. corresponde a la cantidad máxima de cationes que el suelo puede fijar, se expresa en miliequivalentes por 100 g de peso seco

El agua utilizada para riego de C.E. = 0,49 dS/m a 25°C, pH=8,2 y RAS 0,7, contenía 25 mg/l de calcio; 23 mg/l de magnesio; 2 mg/l de nitratos; 0,05 mg/l de amonio; 20 mg/l de sodio; 2,9 mg/l de potasio; 15,3 mg/l de sulfatos; 31,9 mg/l de cloruros y 225,7 mg/l de bicarbonatos.

El sistema de riego fue de goteo con 2 emisores/m². La instalación de riego se evaluó antes de cada ciclo de cultivo, obteniéndose unos coeficientes de uniformidad de caudales en todos los casos superiores a 0,95. Para la programación del riego se partió de un perfil bien humedecido, mediante un riego de inundación previo a la siembra, reponiendo la ETc = Eo K del período anterior, estimada por la evaporación en tanque clase A dentro de invernadero (Eo) y valores del coeficiente K (que es el producto del coeficiente de tanque y el coeficiente de cultivo).

7.1. La materia orgánica en los suelos enarenados

Para conocer el efecto de la materia orgánica en los cultivos, se muestran los resultados de dos trabajos realizados en la Estación Experimental «Las Palmerillas»:

Cuadro 7.3

ANÁLISIS DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL ESTIÉRCOL

Estiércol	% C.O.	% C. EHT	% C. AH	% C. AF.	C. EHT/C.O.
I	6,8	2,2	0,4	1,8	0,3
II	5,5	1,7	0,3	1,4	0,3

I. Capa de estiércol entre arena y suelo. II. Estiércol incorporado al suelo aportado.

% C.O.: Porcentaje de carbono orgánico.

% C. EHT: Porcentaje de carbono en forma humificada.

% C. AH: Porcentaje de carbono en forma de ácido húmico.

% C. AF: Porcentaje de carbono en forma de ácido fúlvico.

La relación C/N varía entre 15 y 20 y el contenido en N total entorno a un 3%.

7.1.1. Influencia de la disposición y cantidad de materia orgánica en cultivos de sandía y tomate

La experiencia se realizó en un invernadero al que no se le había aportado estiércol desde hacía siete años.

Los tratamientos fueron cuatro: un testigo al que no se aportó estiércol y tres donde la cantidad y localización del estiércol variaron. Las siguientes figuras tratan de ser una representación esquemática de los tratamientos:

Cuadro 7.4

TRATAMIENTOS Y DISPOSICIÓN DEL ESTIÉRCOL APORTADO

Testigo	T1	T2	T3
Arena	Arena	Arena	Arena
Suelo aportado	Estiércol 5 kg/cm ²	Suelo aportado 5 kg/m ² Estiércol	Estiércol 5 kg/m ²
Suelo natural	Suelo aportado	Suelo natural	Suelo aportado
	Suelo natural		Suelo natural

En estas condiciones se realizaron 2 ciclos de sandías y 1 ciclo de tomate. A los que se aportó las siguientes cantidades de fertilización mineral: Fertilización mineral aportada:

1.º ciclo: 130 kg/ha de N, 185 kg/ha de P₂O₅ y 145 kg/ha de K₂O*.

2.º ciclo: 130 kg/ha de N, 185 kg/ha de P₂O₅ y 145 kg/ha de K₂O.

3.º ciclo: 203 kg/ha de N, 100 kg/ha de P₂O₅ y 300 kg/ha de K₂O.

Cuadro 7.5

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LA COSECHA (kg/ha) OBTENIDA EN LOS TRES CICLOS DE CULTIVO

Tratamientos	Sandía 1.º ciclo		Sandía 2.º ciclo		Tomate
	Cosecha		Cosecha		Cosecha
Testigo	69000 b		38000 b		121000 a
T1	99550 a		83000 a		135000 a
T2	101450 a		66000 ab		133000 a
T3	85000 ab		80000 a		136000 a

* P x 2,291 = P₂O₅

* K x 1,205 = K₂O

P₂O₅ x 0,436 = P.

K₂O x 0,830 = K.

Conclusiones

- La materia orgánica aumenta el rendimiento productivo de los cultivos.
- No todas las especies responden de la misma manera a la aportación de estiércol aunque en todos los casos el tratamiento testigo dio la menor cantidad de cosecha.

7.1.2. Respuesta de un cultivo de tomate en invernadero a la aportación de materia orgánica de distinta procedencia

Este trabajo se inició en diciembre de 1990, para su realización se efectuaron dos ciclos de cultivo, no habiéndose aportado estiércol al enarenado desde julio de 1986. Se efectuaron los siguientes tratamientos:

- T1. Testigo: enarenado sin aportación de estiércol.
T2. Enarenado retranqueado aportándose 5 kg/m² de estiércol en los 20 cm de suelo aportado y 5 kg/m² de estiércol entre la capa de arena y el suelo.
T3.- Ácido Húmico (vegetal) sin aportación de estiércol. Se incorporó al inicio de cada cultivo 5 cc/m² (se mezcló en un tanque 90 cc de producto por 100 litros de agua y se incorporó encima de la arena (regadera). Posteriormente se dio un riego a pie para hacer descender el producto).
T4. Ácido Húmico (leonardita) sin aportación de estiércol. Se incorporó al inicio de cada cultivo 5 cc/m². Idem T3.

Cuadro 7.6

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS PRODUCTOS EMPLEADOS

Prod.	C.E	pH	Fe	Cu	Mn	Zn	K	P	C.O.	M.O.	A.H.	A.F.
dS/m				mg/l			% p/p	%	%	% p/p	% p/p	% p/p
Nat*	45	13,1	1	0,2	-	2	18	ind.	18,7	31,9	13,3	15,1
Bio**	85,3	6,9	14	1	2	3	21	0,1	13,1	22,2	4,3	4,8
												8,7
												10
												15,7
												17,3

* Nat: Naturvital.

** Bio: Bioabono^o.

^o Naturvital es un nombre comercial de una enmienda húmica proveniente de los depósitos de leonardita (lignito oxidado).

Bioabono cat es un nombre comercial de un abono orgánico biológico fabricado con productos vegetales que aporta ácidos húmicos y fúlvicos.

La fertilización mineral aportada al cultivo fue de:

- 1.º ciclo: 100 kg N/ha, 50 kg P₂O₅/ha y 200 kg K₂O/ha.
2.º ciclo: 200 kg N/ha, 100 kg P₂O₅/ha y 300 kg K₂O/ha.

Cuadro 7.7

PRODUCCIÓN DE BIOMASA (g/m²), COSECHA (g/m²) Y HIERRO EXTRAÍDO POR LOS FRUTOS (mg/kg)

Ensayo	Tratamientos	Biomasa	Producción	Contenido Fe
I		Frutos		
	T1	1047,9 a	15989 a	27,20
	T2	970,1 a	16713 a	20,20
	T3	970,9 a	15782 a	34,01
	T4	1108,4 a	16293 a	29,72
II		Total		
	T1	1347,6 ab	11510 a	-
	T2	1555,3 a	14169 a	-
	T3	1382,4 ab	12012 a	-
	T4	1268,6 b	12633 a	-

Conclusión

Dado que en las condiciones de estos ensayos, las cantidades de sustancias húmicas aportadas, no mejoraron los parámetros de productividad del cultivo, sería conveniente conocer la respuesta del cultivo empleando mayores dosis.

7.2. La fertilización de las leguminosas: judía verde

En un invernadero cuyo suelo enarenado había sido retranqueado (aportación de 100 t/ha de estiércol) se realizaron 2 ciclos de cultivo de judía de crecimiento determinado y 4 ciclos de judía de crecimiento indeterminado. Uno de los tratamientos consistió en no aportar N mineral durante el ciclo de cultivo y otro que aportó 50 kg/ha de N (judía de crecimiento determinado) o 100 kg/ha de N (judía de crecimiento indeterminado).

La respuesta en cantidad y precocidad de cosecha fue similar en los tratamientos siendo el contenido de N en frutos mayor donde se aportó N mineral.

La fertilización en fósforo y potasio para cada ciclo de cultivo fue: 150 kg/ha de P_2O_5 y 375 kg/ha de K_2O .

En el tratamiento de 0 kg/ha de N el balance fue de 1.066,9 kg/ha de N. Esta cantidad de N sólo ha podido provenir del existente en las reservas del suelo y que es fácilmente asimilable por el cultivo que se estima entre 25 y 50 kg N/ha/año al que habrá que sumar el procedente de la nitrificación derivada de los 100 t/ha de estiércol en el tiempo que duró la experiencia que vendría a suponer cada año una contribución de unos 100 kg/ha de N. A estas cantidades habrá que detraer las pérdidas por volatilización y por la lixiviación procedente del riego de inundación de pre-siembra que se realiza con el fin de cubrir un doble objetivo, lavar el exceso de sales del suelo y partir de un perfil humedecido que permite programar el riego con aportes inferiores a la ETc con el fin de localizar el agua y los nutrientes en el suelo ocupado por el sistema radical de la planta. Los experimentos realizados apuntan a que buena parte del nitrógeno extraído por el cultivo pueda provenir de la asociación simbiótica rizobium-leguminosa. La intensidad de extracción del cultivo fue superior a los aportes que desde el suelo se han podido proporcionar tal y como atestiguan el contenido de N en la solución y el procedente de la lixiviación donde en algún momento del ciclo de cultivo éste es muy escaso o inapreciable. Sería interesante analizar hasta qué punto el rizobium puede cubrir las necesidades de N de la judía en las condiciones de suelo enarenado.

Cuadro 7.8

EXTRACCIONES ACUMULADAS DE NUTRIENTES PARA CADA CICLO DE CULTIVO

Cultivo	N kg/ha	Extracción de nutrientes (kg/ha)					
		N	P	K	Ca	Mg	Na
Ciclo 1	0	79,0	8,9	105,6	37,9	13,5	0,5
	50	72,7	7,2	95,1	35,3	12,0	0,5
Ciclo 2	0	144,2	19,5	191,0	68,8	34,6	1,3
	50	133,9	17,6	180,2	65,2	27,3	1,4
Ciclo 3	0	405,3	55,7	418,3	104,3	64,2	11,1
	100	447,7	58,6	423,7	133,8	73,5	11,1
Ciclo 4	0	163,5	31,7	300,0	80,8	55,5	7,2
	100	223,9	36,8	272,9	117,5	65,0	8,8
Ciclo 5	0	169,1	22,5	162,1	221,6	52,8	5,0
	100	161,2	19,6	142,7	199,3	45,4	4,6
Ciclo 6	0	119,2	-	-	-	-	-
	100	188,6	-	-	-	-	-

El siguiente cuadro trata de efectuar una aproximación al balance de nitrógeno, sin tener en cuenta el proveniente de las reservas del suelo ya que los análisis no detectaron que el suelo se hubiese empobrecido en este elemento ni el proveniente de los 10 kg/m² de estiércol aportado al inicio de los ensayos.

Cuadro 7.9

APORTES Y EXTRACCIONES (kg/ha) DE NITRÓGENO PARA CADA CICLO DE CULTIVO

Tratamiento	Concepto Balance	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6
0 kg/ha	Fertilización	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	A. Agua riego	2,5	3,9	8,1	4,8	2,7	3,5
	Extr. cultivo	79,0	144,2	405,3	163,5	169,1	119,2
	Pérdida lix.	0,0	9,5	2,5	0,0	0,0	0,0
	Balance	-76,5	-149,8	-399,7	-158,7	-166,4	-115,8
50 kg/ha	Fertilización	50,0	50,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	A. Agua riego	2,5	3,9	8,1	4,8	2,7	3,5
	Extr. cultivo	72,7	133,9	447,7	223,9	161,2	188,6
	Pérdida lix.	1,8	12,5	16,1	0,0	0,0	0,0
	Balance	-22,0	-92,5	-355,7	-119,1	-58,5	-85,1

Conclusiones

El cultivo de judía verde de mata baja (en los 2 primeros ciclos) no mejora su productividad con la incorporación de nitrógeno mineral. La sustracción de este no genera diferencias significativas en la producción con respecto al resto de los tratamientos, con alto valor de cosecha en todos los casos. En los sucesivos ciclos, la cosecha total en el tratamiento de 50 kg/ha de N siempre fue superior al testigo (0 kg/ha de N) siendo las diferencias estadísticamente significativas sólo en el ciclo 5.

En el ciclo 6 se detectaron diferencias significativas en la extracción de N y en la producción de biomasa total, a favor de los tratamientos que aportaron nitrógeno mineral. La menor producción de biomasa obtenida en éste, para el tratamiento que no aporta nitrógeno mineral al cuarto año del estercolado (1988 a 1992) y después de seis ciclos consecutivos de cultivo de judía (dos de crecimiento determinado y cuatro de crecimiento indeterminado), nos hace pensar en la conveniencia de complementar la fertilización nitrogenada o proceder a un nuevo aporte de estiércol. Ya que en

el caso de este cultivar el N del suelo más el atmosférico no han sido suficientes para completar las necesidades del cultivo, precisando de un aporte adicional de este elemento como sugieren Bouniols *et al.* (1985).

La supresión del abonado mineral de N en las condiciones descritas (en los primeros ciclos de cultivo) es de gran interés, ya que reduce en la mejora del coste de explotación y en la disminución de la contaminación de los acuíferos, al reducir la presencia de iones nitrogenados en el agua de lixiviado.

7.3. El agua y los nutrientes en los cultivos en sustratos

La técnica de cultivo en sustrato se presenta como la panacea para resolver los problemas que plantea el cultivo en suelo de los invernaderos (salinaria y salinidad) además permite un mejor control sobre la nutrición del cultivo. Esta tecnología se viene utilizando en invernaderos industriales con clima controlado recirculando la solución nutritiva por contraposición con los invernaderos de clima pasivo donde se trabaja con solución perdida. Los gráficos 1 y 2 muestran la cantidad de agua y de fertilizantes (N, P₂O₅ y K₂O) aportados y lixiviados en los sustratos y en el enarenado para cada cantidad de agua (0,5 y 3,0 dS/m), el cuadro 11 refleja la cantidad de cosecha obtenida en cada caso. Poniéndose de manifiesto que:

1. Con agua de 0,5 dS/m:
 - Los sustratos gastan de media el doble de agua que el enarenado.
 - Los sustratos lixivian una cantidad de solución nutritiva superior a los 2.000 m³/ha frente a la no lixiviación del enarenado.
 - A los sustratos se les aportó en N, P₂O₅ y K₂O (elemento puro) la cantidad de 4.500 kg/ha frente a los 800 kg/ha aportado al enarenado.
 - La producción fue un 18% superior en los sustratos.
2. Con agua de 3 dS/m:
 - Los sustratos gastan de media casi el triple que el enarenado.
 - Los sustratos lixivian una cantidad de solución nutritiva superior a los 4.000 m³/ha mayor que el gasto que ha tenido el enarenado.
 - A los sustratos se les aportó 5.000 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O (elemento puro) frente a los 800 kg/ha aportado al enarenado.
 - La producción fue un 7% superior en los sustratos.

Conclusiones

Agronómicamente el sistema de cultivo en sustrato mejora la productividad del cultivo en invernadero tipo Almería.

Financieramente sólo se justifica claramente la implantación del sustrato cuando para la realización del enarenado se precise aporte de suelo.

Económicamente el cultivo en sustratos arroja unas externalidades negativas muy superiores a las que ocasiona el enarenado, dando al traste con la mayor rentabilidad inmediata que para el agricultor individual pueden mostrar los resultados.

Cuando se emplea la técnica de solución perdida para el cultivo en sustrato, la eficiencia en el uso del agua (consecuencia del mayor gasto y de la contaminación subsiguiente) es menor que en el enarenado hasta el punto que valorada el agua al coste de reposición la rentabilidad del cultivo en sustrato queda afectada negativamente. Así pues, si esta técnica se quiere aplicar en zonas con escasez de recursos hídricos se tendrá que hacer con solución recirculada. Ello supondría poner a punto una técnica de recirculación que fuese económicamente viable.

Gráfico 7.1

APORTE Y LIXIVIADO DE AGUA (l/m²) A LOS SUSTRATOS Y AL ENARENADO

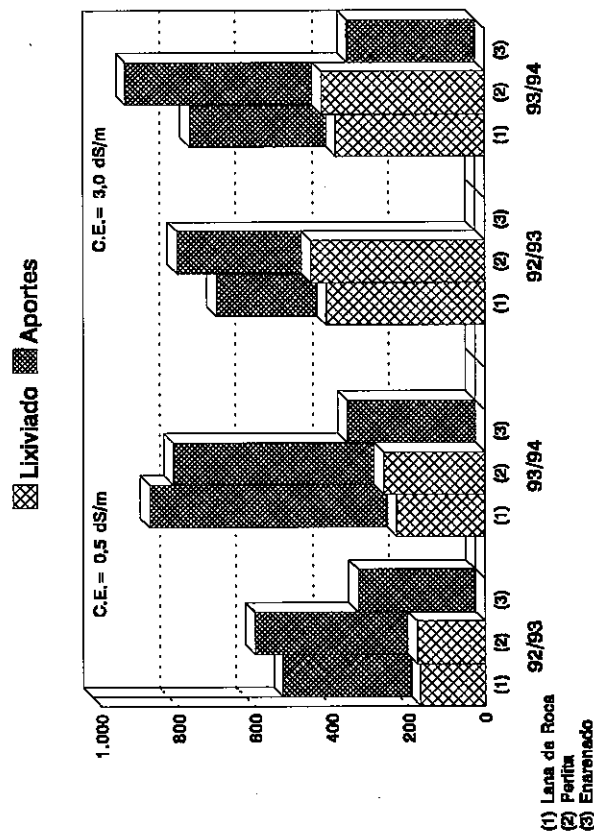
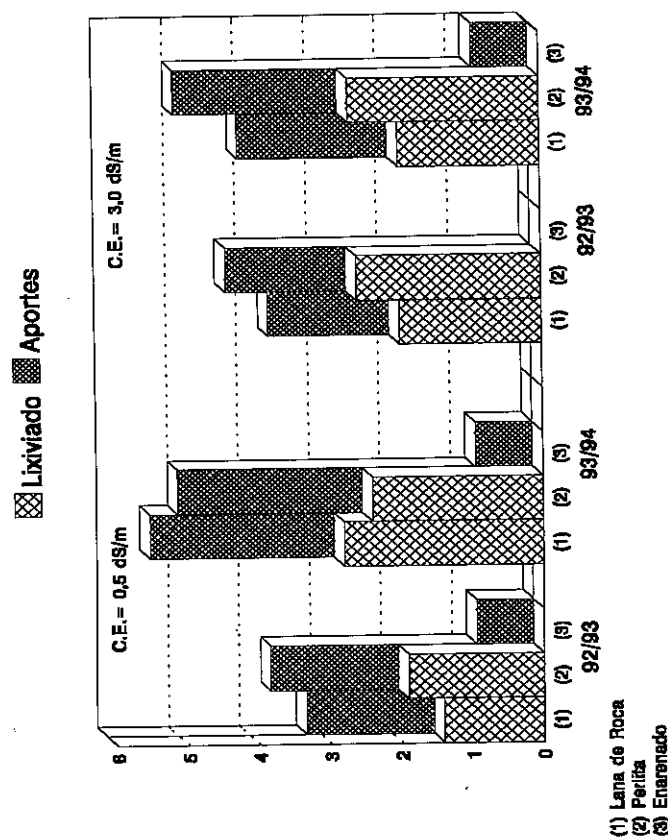


Gráfico 7.2

APORTE Y LIXIVIADO DE FERTILIZANTES (t/ha) (N, P₂O₅, K₂O)
A LOS SUSTRATOS Y AL ENARENADO



Cuadro 7.10

COSECHA (kg/m²) Y RENDIMIENTO (g/l) DE LOS SUSTRATOS.
LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL AGUA DE RIEGO
FUE DE 0,5 dS/m Y DE 3,0 dS/m*

Cosecha	Cosecha			Rendimiento		
	L. Roca	Perlita	Enarenado	L. Roca	Perlita	Enarenado
92-93	17	17	14	32	27	41
92-93*	13	14	-	19	16	-
93-94	19	20	17	21	24	48
93-94*	16	14	14	20	14	39

Rendimiento = gramos de cosecha/litros agua aportada.

Bibliografía

- BOUNIOIS, A.; PUECH, J.; CHALAMET, A., y MONDIES, M. (1985): «Influence des conditions d'alimentation hydrique ou (et) azotée à différents stades du développement sur la production de grains et la nutrition azotée du soja». *Eurosoya*, 3: 55-61.
- CASTILLA, N. (1986): «Contribución al estudio de los cultivos enarenados en Almería. Necesidades hídricas y extracción de nutrientes del cultivo del tomate de crecimiento indeterminado en abrigo de polietileno». Tesis Doctoral. Caja Rural de Almería, 195 pp.
- FERNÁNDEZ, M. D., F. ORGAZ, F. VILLALOBOS y J. LÓPEZ-GÁLVEZ (1994): «Evaluación de métodos de cálculo de la evapotranspiración de referencia bajo condiciones de invernadero en Almería». XII Jornadas Técnicas sobre Riegos y Drenajes. Pamplona, 22 al 24 de junio de 1994.
- FERNÁNDEZ, M. D., F. ORGAZ y J. LÓPEZ-GÁLVEZ (1995): «La demanda evaporativa en el invernadero parral». I Simposium Iberoamericano sobre «Aplicación de los plásticos en las tecnologías agrarias», abril 1995. El Ejido - Almería - España. Actas: 231-241.
- GALLEGO, A., F. BRETONES, J. C. LÓPEZ y J. LÓPEZ-GÁLVEZ (1994): «Respuesta de un cultivo de pepino a la dosis y frecuencia de riego». XII Jornadas Técnicas sobre Riegos y Drenajes. Pamplona, 22 al 24 de junio de 1994.
- GÓMEZ-LÓPEZ, J. D. (1993): «Cultivos de invernadero en la fachada Sureste Peninsular ante el ingreso en la C.E.». Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica.
- LÓPEZ-GÁLVEZ, J.; GALLEGO, A., y F. BRETONES (1990): «Necesidades de riego en berenjena cultivada sobre suelo enarenado bajo abrigo plástico». VIII Jornadas Técnicas sobre Riegos. Mérida (Badajoz).
- LÓPEZ-GÁLVEZ, et al. (1993): «Los fertilizantes de lenta liberación. Aplicación al cultivo de melón bajo invernadero». *Hortofruticultura*, n.º 9: 43-46.
- LOSADA, A.; JUANA, L., y MARTÍNEZ, J. (1995): «Distribución racional del agua con sistemas de riego por goteo en invernadero». *Cuadernos de divulgación*. Monografía sobre proyectos, n.º 12, FIAPA-IFA.
- MARTIALIS, M. V. (93 AD): *Epigrammi*. Liber VIII. Ep. 14.
- MOE, R., y MORTENEN, L. M. (1986): «CO₂ enrichment in Norway». En: Vol. I, *Status and CO₂ sources*. *Carbon Dioxide enrichment of Greenhouse Crops*, H. Z. ENOCH y B. A. KIMBALL (eds.), CRC Press, Boca Ratón, Florida, pp. 59-73.
- PLINIUS, S. G. (77 AD): *Naturalis Historia*, Liber XIX: 19,4 y 23,5.
- RESH, H. M. (1992): «Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción», 3.ª edición, Mundi-Prensa, 369 pp.
- SÉNECA, L. A. (63 AD): *Epistulae morales ad Lucilium*. Liber XIX-XX. Ep. 13 (122).