

EFFECTOS AMBIENTALES Y TECNOLOGÍA EN EL SISTEMA DE CULTIVO FORZADO

JOSÉ LÓPEZ GÁLVEZ Y JOSÉ ANTONIO SALINAS ANDÚJAR

*«La tierra concibe por el sol y de él queda preñada,
dando a luz todos los años» (Copérnico)*

INTRODUCCIÓN

La producción agraria, originariamente, se consideró que era fruto de la unión entre el cielo y la tierra. No es de extrañar que las prácticas agrícolas se preocuparan por mejorar esa unión con el fin de acrecentar sus frutos. Esta actitud de colaboración con la naturaleza se extendió hasta finales del siglo XVIII. La aceptación del principio de conservación de la energía y la materia, supone el abandono de las ideas creacionistas y la aparición de la química agrícola. El balance de nutrientes se constituye en esta época en el instrumento básico del razonamiento agrario. Y aún en la primera mitad del siglo XX había quien pensaba que la sostenibilidad 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, (ver apéndices 1 y 2).

La obtención de fertilizantes sintéticos y la respuesta a su empleo tras la Segunda Guerra Mundial, en el marco de la llamada **‘revolución verde’** supuso el abandono de las anteriores teorías. Ante esta situación surgieron nuevas preocupaciones relacionadas con los efectos negativos, consecuencia de la mineralización de los suelos y la contaminación de las aguas derivadas del uso de agroquímicos.

Los cambios tan radicales que conlleva el paso de sistemas agrarios ‘tradicionales’ a ‘modernos’ hacen que al aparato conceptual de la idea ordinaria y atemporal de sistema económico resulte insuficiente para su comparación. En efecto, en los sistemas ‘tradicionales’ los agricultores trataban de colaborar con la Madre-Tierra reponiendo en ciclo cerrado la mayoría de los insumos. En los ‘modernos’ se cuenta lo menos posible con la Madre-Tierra tendiendo 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 la que se compra todo lo que se incorpora al proceso de producción, incluido el CO₂). El análisis para la comparación de estos sistemas agrarios, precisa, para su correcta interpretación, de la modelación de su funcionamiento físico con independencia de su proyección económico-mercantil. Para ello es necesario echar mano de la ecología (y las ciencias de

la naturaleza por ella utilizadas) y no de la actual economía académica. En definitiva, la función de producción no parece adecuada para estudiar el funcionamiento y la evolución de sistemas biológicos tan complejos como son los agrarios.

SITUACIÓN ACTUAL

La agricultura actual es muy dependiente del combustible fósil. El incremento notable de la producción por unidad de superficie que se ha producido en los últimos tiempos, ha sido posible gracias a la conjunción de una serie de factores como son: la ingeniería genética, el riego, los productos fitosanitarios, los fertilizantes y la mecanización. Esta última ha conllevado un descenso importante de la mano de obra en el campo, produciéndose en algunas áreas una desertización como consecuencia de la excesiva despoblación. Los mayores rendimientos obtenidos no han venido acompañados por una mejor relación entre la energía aportada y la obtenida (ver cuadro 1).

El cuadro 1 muestra información sobre el balance energéticos de cada técnica de cultivo. Su cálculo se ha apoyado en datos experimentales. El contenido energético de los materiales y productos que intervienen en el proceso, no se han analizado directamente, sino que proceden de distintas fuentes. Por esta razón los balances energéticos deben considerarse meramente orientativos de un orden de magnitud y no como el resultado de mediciones directas.

Los datos de los balances energéticos resaltan la importancia que tiene la energía aplicada a los procesos previos al cultivo para obtener: agua, fertilizantes, sustratos y plásticos. Esta energía se incrementa sensiblemente en el caso del cultivo en sustrato, en razón del mayor gasto que supone la obtención del propio sustrato y de los fertilizantes que tan abundantemente utilizan.

El gasto energético relacionado con la aplicación de agua (red de distribución, bombeo y desalación) es relativamente pequeño si lo comparamos con los fertilizantes. La energía empleada en los procesos de extracción, molienda y transporte de las rocas volcánicas utilizadas, es de un kilogramo equivalente de petróleo (kep) por cada kilogramo de sustrato, al que se le ha añadido la energía gastada en el transporte desde las industrias productoras hasta la zona de implantación.

La energía empleada en los sustratos hasta ponerlos en la parcela supera al gasto anual medio exigido en el enarenado por la aportación de arena y estiércol, habida cuenta de su prolongada vida y suponiendo que se traiga de zonas próximas como ocurre en la zona del Campo de Dalías.

Un aporte energético que no suele incluirse, en este tipo de análisis, es el de la radiación solar, por tratarse de un bien verdaderamente libre y gratuito. La energía que recibió el invernadero, donde se realizó el cultivo, por este concepto fue de 417 tep/ha. Su exclusión de las entradas de energía en los sistemas agrarios, circunscribiéndolas sólo a las aplicadas por el hombre, es lo que permite obtener rendimientos superiores a la unidad al relacionarla con la energía contenida en la cosecha.

Balance energético (tep/ha) del tomate cultivado con diferentes tipos de sustrato.

MATERIALES	E	A	B	C	D
Entradas: Agua Fertilizantes Sustrato Estiércol Arena Plástico	0,12	0,31	0,26	0,28	0,25
	0,48	3,38	2,88	3,11	2,72
	-	1,83	3,85	6,35	9,93
	0,20	-	-	-	-
	0,13	-	-	-	-
Salidas: Cosecha	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
	4,3	5,4	5,2	5,2	5,7
Ratio de Rendimiento	1,40	0,70	0,57	0,44	0,38

Nota.- E= enarenado, A, B, C y D son diferentes tipos de sustratos.

Fuente: López-Gálvez y Naredo.

Los elementos considerados dan cuenta del grueso de la energía aplicada por el hombre a las técnicas de cultivo analizadas y permiten advertir marcadas diferencias, así el cultivo en sustratos reclama entre tres y cinco veces más energía que el enarenado, para obtener por término medio sólo 1 tep/ha mas de cosecha.

El cultivo en enarenado, al ser menos exigente en energía y hacer un uso más eficiente de la misma, se revela menos contaminante y más sostenible. En este sentido se puede señalar con carácter casi generalizable que el número de calorías convertidas en energía alimentaria por cada caloría de energía utilizada ha ido descendiendo en los sistemas agrarios a medida que avanzaba su grado de modernidad.

A largo plazo, la vulnerabilidad de la agricultura intensiva es consecuencia de su dependencia de unos recursos que se agotan. Una de las opciones que se manifiestan como deseable pasa por explotaciones agrícolas relativamente pequeñas y por utilización de tecnologías intermedias, adaptadas al ecosistema, con el fin de reducir el uso de energía fósil. El problema estriba en que el análisis económico-mercantil va a decidir como deseable **‘La explotación agraria individual plenamente mecanizada que hace producir la máxima extensión cultivable de que son capaces el hombre y sus máquinas. Desde el punto de vista de los costes por unidad de producción, este tipo de explotaciones tiene todas las ventajas económicas asociadas con el tamaño.’** El actual modelo económico favorece una agricultura con una cada vez más intensa utilización de energía, forzando los cultivos con el fin de obtener la mayor rentabilidad.

EL SISTEMA DE CULTIVO FORZADO

El concepto de agricultura ha sido tradicionalmente entendido como propio de actividades muy dependientes del medio físico natural. No debe, pues, extrañar que la prosperidad agrícola de una zona fuera concebida como algo consustancial con circunstancias favorables de suelo, clima y agua. La condición desfavorable de alguno de estos factores limitaría el potencial de diversas prácticas agrarias, hasta el punto de que estas lleguen a perder su interés económico.

La técnica de protección o forzado de cultivos consigue modificar, total o parcialmente, las variables ambientales haciendo que los cultivos se desarrollen con cierta independencia de los factores climáticos. Esta técnica empezó a practicarse desde muy antiguo. La posibilidad de realizar el cultivo mediante abrigos transparentes era conocido por los romanos, que observaron como **‘ellos admiten el sol y el día sin sol (luz)’**. 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’**. La simple frase muestra como se puso el 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 periodo de invierno aquella flor de primavera?’**.

En el siglo XV, coincidiendo con el fervor económico y cultural en Europa, aparecen las ‘orangeries’ francesas. En ellas se trataba de disponer de cultivos adaptados a 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 XVIII, la nobleza y casas reinantes se interesaron por estas construcciones, utilizándolas para el cultivo de plantas exóticas recogidas en otras latitudes. 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 en 1904 y casi 7000 ha en 1970 (Gómez-López, 1993). Sin embargo, el alto coste de estos invernaderos, derivado por la especial estructura para soportar el peso del cristal y por el precio del mismo, no ayudó a la rápida extensión de esta tecnología.

La crisis del petróleo del año 1973 impuso la realización de investigaciones agrarias encaminadas a disminuir la cantidad de energía consumida por unidad producida. Estas consiguieron materiales de cerramiento de gran transmisividad a la radiación solar y con buen efecto termoaislante de las radiaciones de onda larga, poco pesado, lo que hizo posible pasar a un esqueleto estructural más económico. Con la introducción de los materiales plásticos flexibles, a principios de los años 70, surge la rápida expansión de los invernaderos. Esta fue facilitada por el abaratamiento de los costes tanto de estructuras como de materiales. Estos presentaban algunos problemas lógicos, por otra parte, en una nascente industria de formulación y fabricación. Jorge y Bretones (1990) señalan los principales defectos de estos materiales, que eran:

- Falta de uniformidad en el espesor de la película.
- Rápida degradación.

- Poca resistencia mecánica con fácil rotura por el viento.
- Nula protección térmica con bajas temperaturas.

Todos estos problemas constituían un freno al desarrollo de los cultivos bajo invernadero plástico, pues, a pesar de conseguirse mejoras en precocidad, calidad y cosecha total, comparados con el cultivo al aire libre, no podían dar todo su potencial productivo, especialmente en épocas frías, por la indefensión frente a las bajas temperaturas. La incorporación de formulaciones adecuadas, los mejores sistemas de transformación, un manejo más cuidadoso y el nacimiento de materiales parcialmente termoaislantes a la radiación infrarroja de onda larga mejoraron su prestación. A la par que en los distintos países del mundo se desarrollaban las industrias del plástico, la evolución de la superficie cultivada bajo película de dicho material aumentó considerablemente. La revolución que supone el desarrollo de materiales plásticos y su aplicación en el mundo de la agricultura está propiciando un profundo cambio en la concepción de la práctica agraria. Así, estos materiales no solo intervienen en la mejora y manejo del agua (redes de distribución, depósitos reguladores, sistemas de riego y redes de avenamiento), sino que también permiten alterar las condiciones ambientales del medio, acolchados, pequeños túneles, mallas de protección e, incluso, con la propia cubierta de invernaderos. A continuación se describen las principales aplicaciones de los materiales plásticos en la protección de los cultivos.

El acolchado. Consistente en la colocación de una lámina plástica traslúcida u opaca sobre el suelo. De esta manera se mejora las condiciones térmicas del sistema radical de la planta, se disminuye la evaporación desde el suelo y se evita la proliferación de malas hierbas. Últimamente se viene utilizando para realizar la desinfección del suelo, técnica conocida con el nombre de solarización.

Superficie (ha) y cantidad de plástico (t) para acolchado en el mundo.

ZONA	HA	T
Europa	300.000	75.000
África/Medio Oriente	10.000	2.500
América	200.000	50.000
Asia/Oceanía	3.500.000	350.000

Por países destaca China con 2.000.000 ha, Japón con 150.000 ha y Corea con 100.000 ha. España al igual que Francia tienen unas 70.000 ha cada una.

El pequeño túnel. Esta técnica se emplea para mejorar las condiciones de suelo en los aspectos relacionados con temperatura y humedad. Además modifica las condiciones ambientales del cultivo en sus primeras fases de desarrollo. Se estima que habrá unas 230.000 ha, destacando china con 85.000 ha y Japón con 55.000 ha, en España hay unas 17.000 ha.

La cubierta directa. Se trata de una técnica más reciente, que está desplazando al pequeño túnel por su menor exigencia en mano de obra. La superficie ocupada es de unas 35.000 ha.

El invernadero. Con la llegada de los materiales plásticos se constituyeron tres grandes líneas de evolución de esta tecnología, en función del grado de protección de los cultivos.

En primer lugar, continua con el invernadero tradicional de estructura y cubierta de material rígidos. Este invernadero incorpora perfeccionamientos en el esqueleto estructural, utilizándose acero inoxidable y aluminio anodizado en los herrajes, para recibir el material de cerramiento (vidrio o placa...). Incluso se mejora el microclima dotándolo de medios activos para su control con sistemas de calefacción, ventilación, iluminación, inyección del anhídrido carbónico, gobernado por medios automáticos. Por lo general, este tipo de estructuras se utiliza en zonas frías o se construyen para el cultivo de plantas de alto valor, para investigación.

En segundo lugar, en zonas templadas comienza la construcción de invernaderos que utilizan para su cerramiento materiales flexibles, no permanentes, lo que admite soportes estructurales más ligeros. Este tipo de construcción viene ayudado en su expansión por la crisis energética y la concienciación de la limitación de los recursos naturales. Se abre aquí una nueva línea de evolución de invernaderos que representan, respecto a los de material de cerramiento rígido, mayores ventajas técnicas y económicas, derivadas de la flexibilidad de los materiales de cerramiento y de su menor peso, permitiendo unas estructuras más económicas. En algunos casos, para mejorar su microclima, se les dota de calefacción y de iluminación.

En tercer lugar, la tecnología de invernaderos la constituyen unas estructuras de bajo coste de inversión, realizadas artesanalmente con materiales poco elaborados. Estos invernaderos se caracterizaban por mejorar su microclima de forma pasiva, actuando como captadores solares, con lo que consiguen aumentar la integral térmica en su interior.

Superficie (ha), ocupada en el mundo por túneles altos e invernaderos, cerrados con material flexible.

ÁREA MEDITERRÁNEA	110.000
Resto de Europa	17.000
Continente americano	13.000
Área oriental	140.000
Total	280.000

Un ejemplo de esta tecnología tiene lugar en las Islas Canarias y en Almería (España).

Evolución de la superficie ocupada (ha) por invernaderos en Holanda (1ª vía de evolución) y en España (2ª y 3ª vía de evolución) y Almería (3ª vía). Diversas fuentes.

AÑO	HOLANDA	ESPAÑA	ALMERÍA
1904	30		
1927	2.025		
1946	3.254		
1968	6.946	546	30
1970	7.236	1.220	920
1975	7.906	4.400	2.975
1980	8.760	11.270	7.150
1985	8.973	18.680	11.850
1986	9.088	20.260	12.300
1987	9.210	26.160	13.200
1988	9.322	26.564	14.300
1990	9.769	28.100	16.500
1993	10.000	36.500	23.150
1995	10.225	38.300	24.300
1997	10.450	39.200	26.750

Almería es la zona donde más se han desarrollado los invernaderos. Tomándola como ejemplo, pasamos a describir su sistema de cultivo.

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 estas 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 determina en esta región un cierto carácter desértico.

Un esfuerzo acumulado a lo largo de los 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 del 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 las utilizadas 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 este la evapotranspiración del cultivo, se limitan los daños del viento y se mejoran ligeramente su régimen térmico. Esta técnica de cultivo empezó a realizarse el año 1963.

En todo caso, antes de su construcción, el suelo se ‘hace’. Para su preparación se incluyen usualmente, además de las labores de subsolado y explanación, 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, este 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 estos. El empleo de sustratos pretende ir a un paso más allá, al promover cultivos que prescinden del suelo para cualquier función otra que la de apoyo.

EFECTOS AMBIENTALES DEL SISTEMA DE CULTIVO FORZADO EN ALMERÍA

La agricultura de invernadero, al igual que otros procesos económicos, no solo opera sobre un medio físico y territorial concreto, sino que su actividad empieza y termina en la naturaleza. El proceso se inicia con el empleo de recursos naturales y termina generando residuos, con la consiguiente incidencia medioambiental, al utilizar el medio como sumidero.

El esquema 1 refleja las distintas escalas de agregación y de aspectos relacionados con la gestión. Las escalas de agregación, desde el punto de vista físico-territorial, pueden ir desde el invernadero hasta la comarca o Europa y atendiendo a las unidades de gestión desde la finca o explotación hasta el municipio al que pertenecen o la Unión Europea.

Aspectos territoriales. La gestión se centra prioritariamente en los aspectos monetarios y en segundo lugar sobre los físicos, en la medida en la que condicionan a los primeros. Por el contrario, la ordenación del territorio debe ocupar un lugar importante desde la perspectiva de la gestión municipal. Esta deberá contemplar, además de los aspectos estéticos, aquellos otros que inciden negativamente sobre los recursos como son su contaminación o agotamiento. El comportamiento del agricultor individual movido por la racionalidad coste-beneficio, puede incidir, y en nuestro caso incide, sobre los aspectos territoriales y ambientales (declaración provisional de acuífero sobreexplotado del Campo de Dalías). De ahí la conveniencia de tender puentes entre ambas racionalidades para que la gestión cumpla los objetivos razonables de rentabilidad a corto plazo de las fincas y de sostenibilidad a medio y largo plazo del sistema de explotación.

Relativo al invernadero hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

Suelo artificial o sustrato. Para la realización del suelo enarenado se precisa de la entrada de estiércol y arena. El estiércol en zonas áridas es un factor limitante. La demanda de más de 30 t/ha. año plantea la necesidad de asociar el sistema con algunos aprovechamientos ganaderos, o la obtención de compost de residuos orgánicos. La arena, con 1600 t/(ha, 10 años) constituye la segunda entrada en importancia, después del agua. Aunque en la corteza terrestre la arena no sea un factor limitante, la zona costera de Almería precisa de una normativa estricta que regule las importantes extracciones que requiere el cultivo enarenado a fin de minimizar su impacto ecológico y paisajísticos. Los importantes volúmenes de arena y estiércol no plantean problemas de residuos ya que se incorporan al suelo sin ocasionar perjuicio alguno.

Los sustratos suponen una entrada de entre 2 y 10 t/(ha, 2 años) y una salida, de al menos, esas cantidades de sustrato desechado que no son fácilmente degradables y que están contaminados. La comparación enarenado/sustrato a efectos ambientales, se pueden ver en el esquema 2.

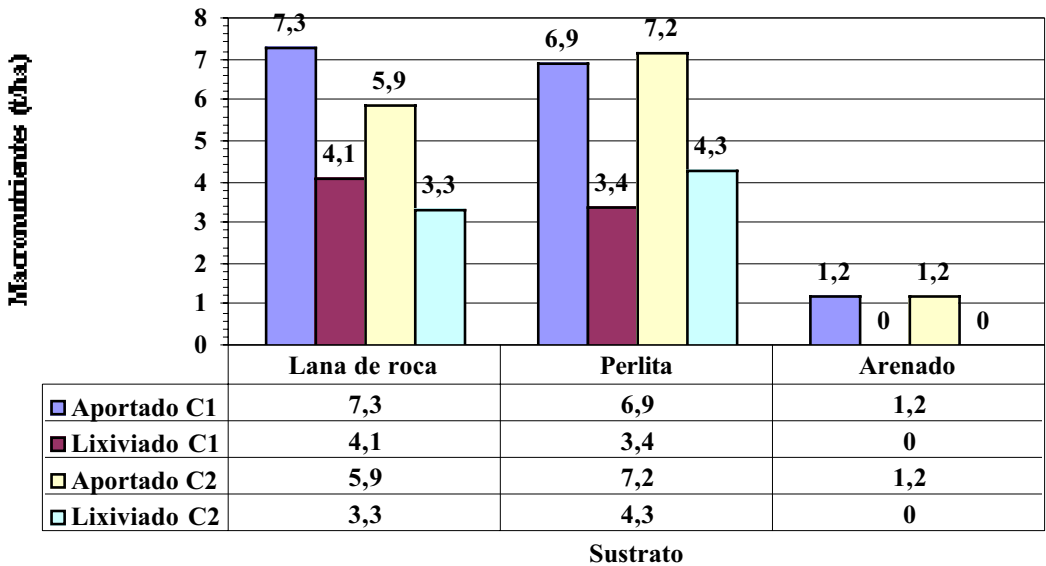
Fitosanitarios. Los productos fitosanitarios usados en la agricultura, los podemos clasificar según su origen en tres grupos: minerales, vegetales y compuestos orgánicos de síntesis. Los dos primeros, salvo excepciones, no presentan problemas de contaminación. Los compuestos orgánicos de síntesis son los que plantean mayor riesgo debido tanto a su persistencia como a la de sus metabolitos, así como a su toxicidad. Los mayores problemas los plantean los productos organoclorados y los carbamatos.

La aportación de un producto fitosanitario va a tener su efecto sobre el suelo donde es retenido y sobre las aguas al ser arrastrado hasta acuíferos, ríos, lagos, etc. la persistencia del producto o sus metabolitos en el suelo pueden plantear alteraciones, de consecuencias escasamente estudiadas, tanto en la microfauna del suelo como sobre algunos vegetales donde pueden ocasionar problemas de toxicidad o lo que es más grave aun pueden provocar un aumento de la toxicología a través de los sucesivos pasos de las cadenas tróficas. Los restos de los

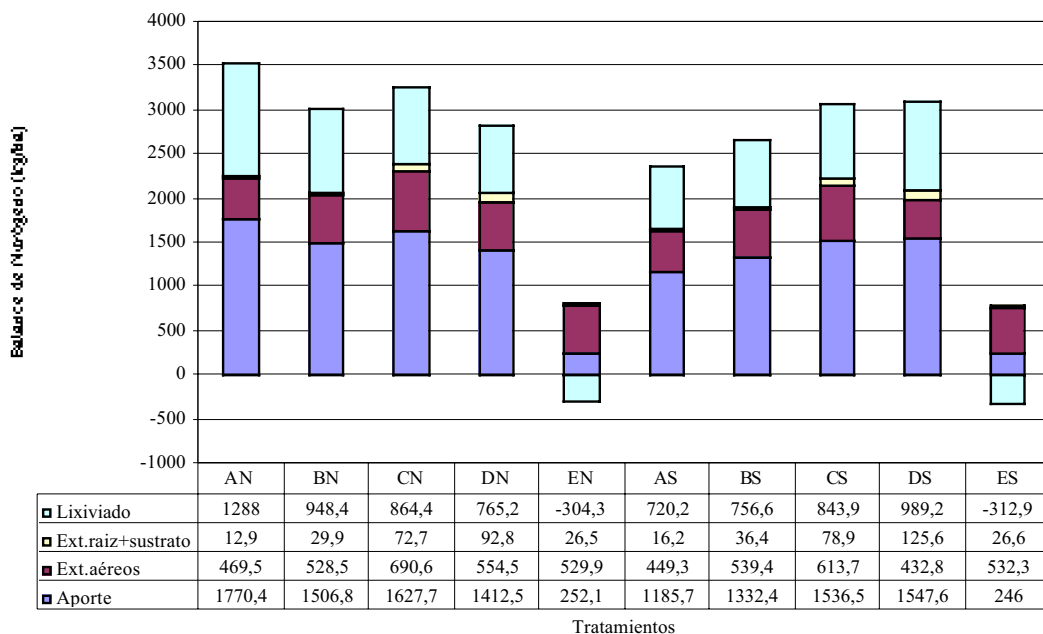
productos fitosanitarios que van a pasar al agua pueden causar daños verdaderamente importantes ya que además de ser el agua un vehículo muy importante de contaminación, los productos resultantes de la hidrólisis o de la acción de microorganismos pueden ser a veces más tóxicos que los originales.

Fertilizantes. El uso poco controlado de los fertilizantes puede provocar la salinización del suelo y la contaminación de las aguas por iones nitrogenados y fosfatados. Los nitratos y nitritos diluidos en la solución del suelo, son absorbidos por los complejos coloidales arcillo-húmicos constituyendo una reserva de nitrógeno. Cuando aumenta los aportes de este elemento, sobrepasando la capacidad de retención del suelo y de asimilación, tanto de los microorganismos como de la cubierta vegetal, los iones nitrogenados son lavados del suelo mediante el agua aportada por el riego o la lluvia arrastrándolos hasta los cursos superficiales y subterráneos de agua. Los fosfatos son también fuente de contaminación de acuíferos. Éstos provienen fundamentalmente del abonado y en menor medida de los productos fitosanitarios que contienen fósforo. Los elementos N y P influyen en la producción de biomasa acuática.

Balance de macronutrientes(t/ha) en tomate. C1=agua 0.5 dS/m y C2=agua 3 dS/m.



Balance de fertilización nitrogenada (en Kg/ha) en segundo ciclo de cultivo de tomate. Ay B= lana de roca. C y D=perlita. E=arenado. N=Agua de 0,5 dS/m. S= Agua de 3 dS/m.



Los gráficos anteriores muestran la cantidad de elementos fertilizantes (N, P₂O₅, K₂O, Ca y Mg) aportado y lixiviado por el suelo enarenado y sustratos con dos calidades de agua (0,5 y 3,0 dS/m) y el balance de nitrógeno en un cultivo de tomate, en el que se puede observar la deficiente programación de la fertilización nitrogenada.

Otros residuos. A los residuos sólidos dejados por los sustratos hay que añadir los del cultivo y los de los plásticos de cerramiento del invernadero que por lo general duran dos años. El esquema 3 ilustra el funcionamiento en términos físicos de un invernadero donde se cuantifica también los elementos líquidos (agua más fertilizantes) perdidos por lixiviación.

Agua. Supone la primera entrada en importancia en el sistema de cultivo en invernadero. Y dada la escasez del recurso nos detendremos de manera particular en este punto.

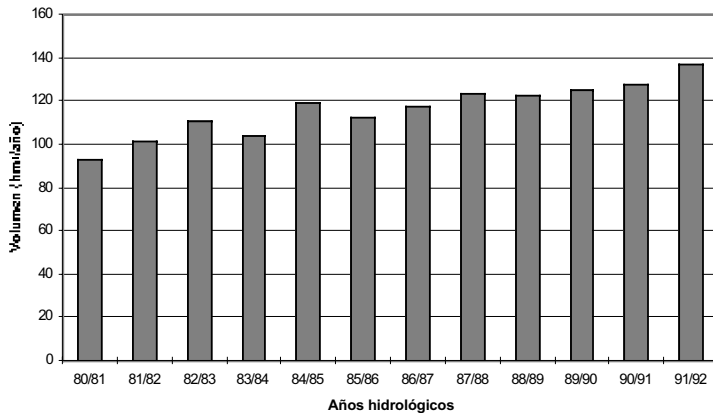
El invernadero y el consumo de agua

El invernadero genera un microclima diferente al del exterior al reducir la radiación solar, el déficit de presión de vapor, la evaporación en tanque y anular la velocidad de viento. La consecuencia es que la demanda evaporativa del invernadero se reduce. Para el invernadero tipo parral de Almería la reducción es de un 50% de la ET₀ (evapotranspiración de referencia) en

invernadero con respecto a la ET_0 exterior¹. De lo anterior se desprende con claridad que el invernadero parral mejora, multiplicándolo varias veces el rendimiento del agua. Siendo el consumo de agua del cultivo de tomate en invernadero parral en Almería de $30 \text{ m}^3/\text{t}^1$, mientras que en Holanda con invernadero de vidrio y cultivo en sustrato es de $15 \text{ m}^3/\text{t}$ ²zonas marginales, como eran buena parte de las del litoral almeriense, conseguir un gran potencial económico en zonas de cultivo de invernadero.

La expansión de la superficie de invernadero en Almería, a pesar de su mayor rendimiento, está aumentando la demanda hídrica absoluta de este tipo de agricultura (ver gráfico 3). Además, con el desarrollo económico de la zona, aumenta necesariamente la demanda de agua de abastecimiento para usos urbano, turístico e industrial. Todo ello ha ocasionado problemas acusados de descenso del nivel de los pozos con problemas, en algunos casos, de intrusión marina como los detectados, a principios de los años 80 en el Campo de Dalías, por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), hoy Instituto Tecnológico y Geominero (ITGE), apareciendo una legislación abundante desde entonces pretendiendo regular la gestión del agua³. La realidad es que a pesar de la prohibición de nuevas puestas en regadío en el Poniente Almeriense, se ha incrementado la superficie regada (ver cuadro 4) sin apreciarse un incremento paralelo en la cantidad de agua gastada, lo que está motivado por el proceso de modernización que ha supuesto el pasar de riego a pie a riego por goteo, el entubamiento de gran parte de la red de conducción y la construcción de depósitos reguladores que aunque aumentan las pérdidas por evaporación, evitan las pérdidas en cola que son mayores.

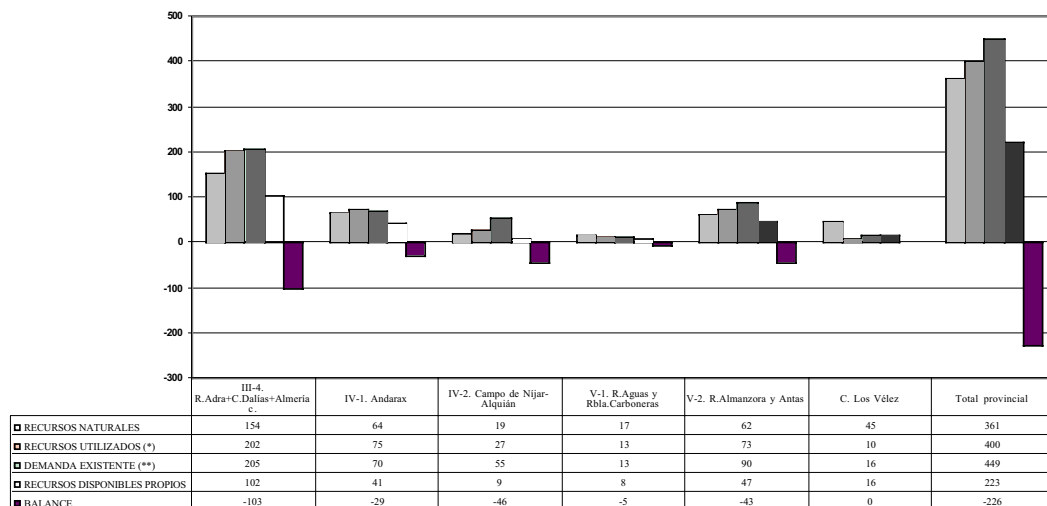
Evolución del volumen de agua ($\text{hm}^3/\text{año}$) suministrada al Campo de Dalías y a Almería capital.



Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España. Las aguas superficiales que provienen de los ríos Celín y Adra más el agua aportada por el embalse de Benínar suponen menos del 10% del volumen total suministrado.

1. J.López Gálvez y J.M. Naredo. Investigación en curso.
2. C. Stanghellini. 1994. Balance hídrico y manejo de microclima en invernadero. Tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización. FIAPA-Junta de Andalucía: 49-62pp.
3. Por hacer mención de *excepcionales circunstancias con peligro de intrusiones salinas en los acuíferos*, merece

Distribución de demandas y recursos propios de agua (Hm³). Almería 1992.



(*): Regulados ó garantizados.

(**): La demanda se satisface mediante la sobreexplotación de acuíferos.

(1): En los recursos disponibles propios se incluyen 40 Hm³ de Benínar de próxima regulación.

(2): Los recursos utilizados en IV-1 incluyen La Cañada-Alquíán.

(3): Los recursos utilizados en IV-2 no incluyen La Cañada-Alquíán.

(4): El balance se considera como la diferencia entre los recursos propios disponibles de carácter sostenible y la demanda.

Fuente: «Pasado, presente y futuro de los acuíferos almeriense». González Asensio, A. ITGE. Actas del I y II Seminario del Agua IEA.

algunos comentarios la ley 15/1984 de 24 de mayo. Por una parte, crea perímetros de protección imponiendo restricciones para el alumbramiento y captación de aguas subterráneas así como *para cualquier modificación de las obras o de las instalaciones elevadoras que aumenten el caudal alumbrado o para la implantación o ampliación de cualquier superficie de regadío con aguas subterráneas*. Por otra parte, concede *carácter prioritario a las actuaciones y obras que puedan iniciarse para el aprovechamiento en riego de aguas residuales, construcción de pequeños embalses y cualesquiera otras destinadas al ahorro de aguas*.

La intención del legislador, sin lugar a dudas loable, no reconoce de hecho el carácter de recurso limitante que, de una manera natural, suele corresponder al agua en regiones donde escasea: habida cuenta de que otras condiciones climáticas son favorables, el recurso limitante en regiones semiáridas puede ahora ser, inesperadamente, el suelo. En efecto, no es al recurso agua al que se ponen límites bien definidos, sino a la superficie regada. Se explica así que el precio del agua mantenga un valor reducido, en tanto que el tándem suelo-agua se revaloriza astronómicamente (en forma paralela a las tierras de los regadíos tradicionales, con el agua -barata- asegurada por su indisoluble asociación a las obras primarias de sus correspondientes sistemas). Tal vez la prohibición de que dicha superficie se extienda más allá del perímetro protegido facilita la fiscalización del cumplimiento de la ley; pero tal limitación no implica una reducción de extracciones si no se incentiva adecuadamente la utilización eficiente del agua disponible, dentro de dicho perímetro. A este fin sí puede contribuir el segundo de los objetivos propuestos, como, según se comentó más arriba, es el caso de pequeños embalses, cuyo mejoramiento en el manejo de los riegos tradicionales es notable.

Ya al amparo de la vigente ley 29/1985 de Aguas, el Real Decreto 2618/1986, repetidamente prorrogado, impone restricciones para la explotación de aguas subterráneas, en zonas que se definen. Más recientemente, de nuevo en el marco

Los gráficos anteriores muestran como el Decreto de 1984 y las sucesivas Disposiciones y Decretos no han servido para que se mantuviera la presión sobre los acuíferos sobreexplotados y ni siquiera para mantener la superficie regada. Dando lugar a un cierto confusionismo que al ser preguntados los agricultores sobre el particular emiten opiniones como la que sigue: «*si no se puede hacer, no se puede hacer para nadie. y, si te viene la denuncia y pagas la sanción, ya es legal el invernadero. El problema del agua no se soluciona poniendo 1.000.000 pts/ha: o se construye o no se construye*»⁴.

EL PROGRESO TECNOLÓGICO

La introducción del *riego por goteo*, con sistemas a presión, tiene lugar durante la década de los 70, en los sistemas agrarios más competitivos del territorio español. Su expansión, ininterrumpida desde entonces, tiene lugar no solo a costa del riego tradicional a pie, sino también gracias al agua ahorrada con los mejores rendimientos ahora posibles; además, porque se usan recursos adicionales, por nuevos o más intensos alumbramientos⁵. Es de interés hacer notar una paradójica situación que viene resultando en gran parte del levante español como consecuencia de la escasez de recursos hídricos: avances tecnológicos como los relacionados con el bombeo en pozos profundos y con la aplicación de técnicas de riego por goteo muy eficientes vienen intensificando la sobreexplotación de acuíferos. En respuesta a esta preocupación, se aprobarían diversas disposiciones reguladoras. Este es el caso de Almería, donde la situación de los acuíferos, que proporcionan el agua a su regadío más productivo, con evidencias de sobreexplotación, con intrusión marina, hizo que en 1984 se dictaran las primeras disposiciones legales que limitaban la expansión del regadío. Es el caso del Decreto 117/84 de 2 de mayo, de la Junta de Andalucía, que regula los alumbramientos y las captaciones, y de la Ley 15/1984

de la misma ley, fue aprobado el Real Decreto 531/1992, de 22 de mayo, también sobre *medidas administrativas especiales para la gestión de los recursos hidráulicos*. Faculta de nuevo a determinadas confederaciones hidrográficas a reducir los suministros de agua y su distribución, *aún cuando hubieren sido objeto de concesión*. En particular, se disponen normas para su aplicación en las *cuencas comprendidas entre los ríos Adra y Andarax, ambos inclusive*, y encomienda a la Confederación Hidrográfica del Sur el establecimiento de *directrices para el ahorro de agua en todos los sectores, así como los criterios de prioridad para la asignación del recurso*. Su Junta de Gobierno establecerá, en su caso, las *dotaciones de agua para cada uno de los distintos usos, quedando referidos los derechos concesionales a estas dotaciones reducidas*. De conformidad con dicha disposición, el organismo mencionado queda facultado para *acordar la reducción o suspensión de cualquier aprovechamiento de agua*, así como para *imponer a los usuarios el establecimiento de dispositivos de modulación, regulación y medición en los canales de riego públicos y privados*, mediante obras que *podrán ser realizadas con cargo a los presupuestos Confederación o de la Dirección General de Obras Hidráulicas*.

4. A. Losada y J. López-Gálvez. 1995. *Gestión del regadío en el campo de Dalías: Las comunidades Sol y Arena y Sol-Poniente. Anejo 10.1.1. Resultados de la encuesta a los regantes de Sol y Arena y de Sol-Poniente*.

5. No obstante, conviene observar que las citadas reales disposiciones no han resuelto el objetivo último de controlar las extracciones de los acuíferos. El incontrolado desarrollo del regadío en una importante fracción de la zona considerada no parece haber encontrado aún el deseado freno por parte de la administración pública, en cuanto a la ordenación racional del alumbramiento y uso de recursos hídricos subterráneos.

Vigente ya la Ley de Aguas de 1985, y al amparo de su artículo 56, el R.D. 2618/86 de 24 de diciembre declaró sobreexplotado los acuíferos del Campo de Dalías, estableciéndose condicionantes para la ejecución o modificación de obras de alumbramiento y la exigencia de autorización para la implantación o ampliación de cualquier superficie de regadío.

de 24 de mayo, de ámbito nacional, «para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos escasos a consecuencia de la prolongada sequía». Sin perjuicio de otras consecuencias en todo el Campo de Dalías, estas restricciones no han supuesto la congelación de proyectos de puesta en riego⁶.

Por lo tanto y en lo que respecta al progreso tecnológico, se advierte el riesgo de una excesiva tecnificación que posibilita procesos de perforación y bombeo cuyo uso generalizado se muestra incompatible con el manejo sostenible de los recursos. Así, cuando los productos agrarios encuentran condiciones de mercado favorables, la consiguiente tendencia a intensificar la demanda de agua se hace excesivamente agresiva. Sin un control social, cada vez más necesario, la disponibilidad de técnicas capaces de explotar recursos cada vez más accesibles puede llevar a situaciones de agotamiento y hacer más difícil el equilibrio para utilizar debidamente el agua renovable.

Otros aspectos. Otras cuestiones que habrá que estudiar con atención es el grado de modernidad y de desarrollo empresarial que debe alcanzar esta agricultura si pretende seguir en el mercado. Este punto, que no es objeto de nuestro análisis, debería llevarnos a pensar si disponemos de las adecuadas infraestructuras y si el precio de la energía en Almería es similar al del resto de sus competidores. En relación con este asunto hay que destacar la necesidad de disponer de un suministro de energía eléctrica acorde con las exigencias que la actual tecnología impone.

CONCLUSIONES⁷

El que los aspectos hídricos, ambientales y territoriales sean competencia de las administraciones, no quiere decir que los agricultores deban permanecer insensibles a ellos. Antes al contrario hay que establecer puentes institucionales entre ambos para revitalizar la vida social de las organizaciones. En el caso del regadío, agricultores, comunidad de regantes, junta de usuarios del acuífero y confederación hidrográfica deberían tener una participación más activa en los problemas que les atañen.

La sostenibilidad del sistema de cultivo en invernadero en la situación actual, dado el escaso éxito de los sucesivos Decretos, pasa por disponer de nuevas fuentes de suministros hídricos.

El resultado conseguido con la modernización del regadío y de la estructura productiva del sistema invernadero nos lleva a plantear que en un país que tiene como propósito el desarrollo de nuevos recursos hídricos, el tratamiento que se debería dar al agua ahorrada, desde un punto de vista financiero, debería ser igual al coste del incremento del agua disponible o de nuevas fuentes de suministro (en el coste se incluiría, además del interés y amortización de las nuevas infraestructuras, el mantenimiento y administración de las mismas). El considerable ahorro de agua que se puede conseguir con la modernización de determinados regadíos justifica-

6. Corominas, J. 1988. "La infraestructura hidráulica de regadío en Almería". El sector agrario y agroalimentaria del año 2.000. Instituto de Estudios Almerienses.

7. Ver López-Gálvez, J. y J.M. Naredo. 1996. "Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustrato". Fundación Argentaria-Visor distribuciones. 294 pp.

ría el impulsar determinadas mejoras conducentes a mejorar la eficiencia en el uso del agua para riego.

Un uso tan intensivo del suelo como el que ha impuesto la agricultura de invernadero, en Almería, reclama una política de ordenación del territorio y un cuidado del paisaje mucho más estrictos que los actuales. Y no solo por compatibilizar con la estética y habitabilidad más elemental, sino por problemas de índole técnico en relación con la salubridad y productividad del propio sistema de cultivo.

TECNOLOGÍA APROPIADA Y SOSTENIBILIDAD LOCAL DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO

A pesar de que el medio natural en algunas áreas de Almería está condicionado por temperaturas relativamente suaves y por una insolación excelente, se hace difícil el aprovechamiento agrícola por condiciones edafoclimáticas extremadamente hostiles. Este es el caso del Campo de Dalías (lugar de los experimentos de campo realizados) donde a la mala calidad de los suelos hay que añadir vientos fuertes y frecuentes, además de la extrema escasez e irregularidad de lluvias, determinante de sus pocos recursos hídricos superficiales.

La confluencia de condiciones climáticas favorables y de avances tecnológicos ha significado que la realidad actual de esta zona haya superado todas las previsiones cuando, hacia 1950, se planificó su desarrollo agrario. El proceso entonces iniciado con el aprovechamiento de sistemas de alumbramiento y distribución del agua ha impulsado una agricultura de riego cada vez más intensiva, sostenida por una síntesis afortunada de antiguas prácticas de cultivo y por diversas innovaciones técnicas. Así, la técnica del suelo enarenado, la protección del cultivo bajo plástico y el riego por goteo, aportaron la «tecnología apropiada» con la que paliar los factores limitantes de suelo y agua. El invernadero tipo parral ha sacado partido del factor relativamente abundante sol, al tiempo que protege del viento al cultivo y reduce la demanda evapotranspiratoria.

Hay que señalar que la escasez de agua en cantidad y calidad constituye el principal factor limitante para el desarrollo de la agricultura en el Campo de Dalías. Los nuevos sistemas de transporte, distribución y aplicación del agua hacen que el riego se aplique, en los campos de cultivo, con rendimientos muy estimables que no van por lo general acompañados de una disminución del gasto de agua en la zona debido al crecimiento incontrolado de la superficie regada. Esta situación ocasiona problemas de sobreexplotación de acuíferos que genera intrusión marina.

Los costes que se reconocen al agua nos son el reflejo de los que deberían corresponderle, en primer lugar, por tratarse del recurso fundamental para mantener el desarrollo económico y hacer posible la protección ambiental; en segundo lugar, por su escasez y, finalmente, pero no con menos importancia, por las inversiones y gastos que exige el ponerla disponible. El agua representa un porcentaje mínimo de los gastos de cultivo y, en consecuencia, los regantes no son sensibles al pequeño ahorro adicional que podría resultar de esfuerzos para mejorar el rendimiento del uso del agua en el campo⁸.

8. López Gálvez, J. y Losada, A. 1995. «El uso del agua de riego en Almería».

Con el fin de no devaluar los conceptos de **desarrollo sostenible** y **tecnología** apropiada conviene aclarar que nos estamos refiriendo a la aplicación de innovaciones que se adaptan a las características de una zona y permiten el mantenimiento estable de sus recursos naturales. El uso eficiente del agua constituye así el principal requisito de una tecnología apropiada a zonas áridas, capaz de desarrollar en ellas una agricultura sostenible. Porque lo mismo que una sentencia popular dice que «cualquier finca puede ser mejorada hasta la total ruina de su propietario» también la producción agraria de un territorio puede ser «mejorada» hasta ocasionar la total ruina de los ecosistemas que la sostienen.

La consecuencia de este modo de razonar es que el mercado deja de ser la panacea que garantiza por sí sola el «óptimo económico», para convertirse en un instrumento más a utilizar sobre bases controladas para conseguir soluciones que se adapten a determinados objetivos o estándares socialmente acordados sobre el entorno físico. Lo cual empuja a abrir el universo económico a la realidad física, a sus modelos predictivos, a las opciones tecnológicas y a los procesos de negociación social, trasladando el centro de discusión económica desde el interior del mercado hacia informaciones e instituciones exteriores al mismo.

APÉNDICE 1. EVOLUCIÓN DE LA VISIÓN DE LA AGRICULTURA

Copérnico en *De revolutionibus* y Aristóteles en *De animalibus* recogían la misma idea: ‘*La tierra concibe por el sol y de él queda preñada, dando a luz todos los años*’. Esta visión organicista del mundo la describe Platón en su *Timeo*.

El principio de la agronomía como ciencia va desde la publicación de los *Principia* de Newton en 1687, hasta la del *Traité élémentaire de chimie* de Lavoisier en 1789.

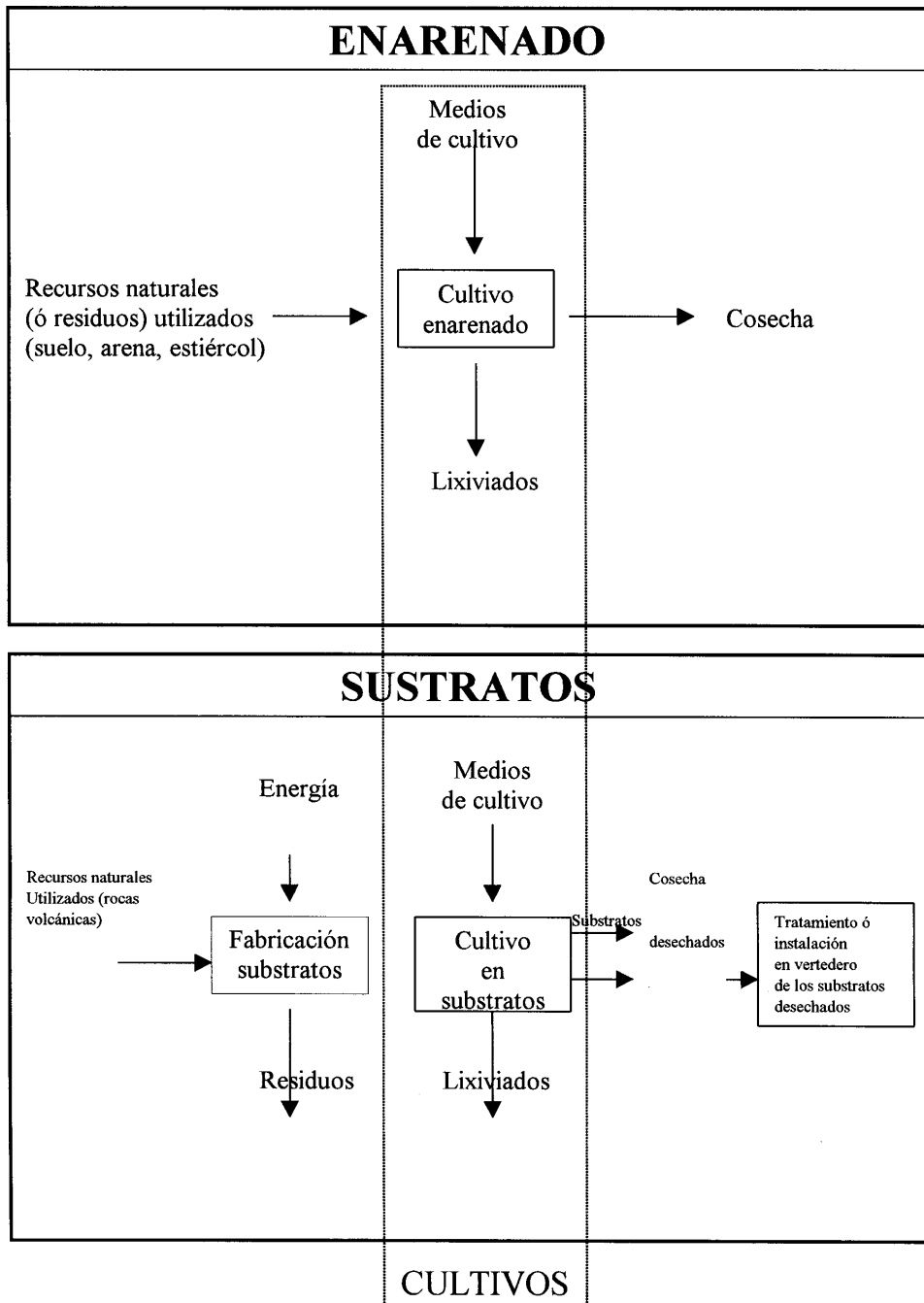
Bousingault, Mulder y Liebig fundaron la química agrícola sobre el principio de conservación de la energía y la materia. Siendo el más reputado padre de la agricultura química Justus von Liebig en su libro clásico ‘*La química aplicada a la agricultura y a la fisiología*’ (1840).

ESQUEMA 1

Escala		Gestión			
		Dimensión Territorial	Dimensión Física	Dimensión Monetaria	Dimensión Socio-Institucional
Micro	Finca o explotación		+	++	
Macro 1	Municipio	++	+		++
Macro 2	Comunidad Autónoma	+	+		++
Macro 3	Administración Central			+	++
Macro 4	UE		+		++

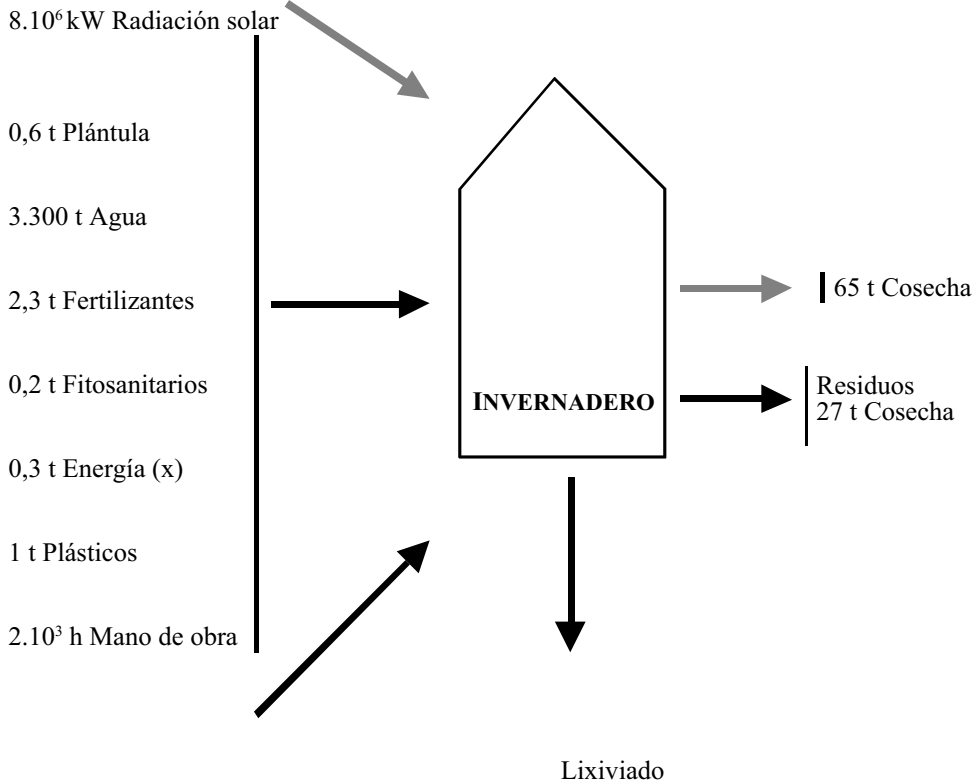
++ Interés prioritario + Interés secundario

ESQUEMA 2. Procesos del enarenado y los sustratos



ESQUEMA 3

Cultivo: Pimiento
Superficie: 1 ha.



Enarenado:

0,3 t Agua y fertilizantes

100 t/ha . 3 años de estiércol

1.600 t/ha .15 años de arena