

ÍNDICE

Presentación 5

- I. La reposición histórica de la fertilidad y el mantenimiento de las capacidades del suelo, un elemento fundamental de las «buenas prácticas» agrícolas y su sostenibilidad, *Ramon Garrabou, Enric Tello, José Ramón Olarieta* 23
- II. Metodología general para la construcción de balances históricos de nitrógeno, fósforo y potasio, *Roberto García Ruiz, Gloria Guzmán Casado, Manuel González de Molina, David Soto Fernández, Antonio Herrera González de Molina, Juan Infante Amate* 39
- III. Influencia del manejo y las variedades de cultivo (tradicionales versus modernas) en la composición elemental de la cosecha del trigo, *Gloria Guzmán, Roberto García, María Sánchez, Vanesa Martos y Luis F. García del Moral* 69
- IV. Productividad de sistemas de secano semiárido en manejo ecológico, *Ramón Meco Murillo, Marta María Moreno Valencia, Carlos Lacasta Dutoit* 85
- V. Hipótesis y primeros resultados sobre los hormigueros como técnica de fertilización en los sistemas agrarios, *J.R. Olarieta, R. Padrò, G. Massip, R. Rodríguez-Ochoa, E. Vicedo, E. Tello* 109

- VI. Claves del crecimiento agrario: la reposición de la fertilidad en la agricultura andaluza de los siglos XVIII y XIX, *Manuel González de Molina, Gloria Guzmán Casado, Roberto García Ruiz, David Soto Fernández, Antonio Herrera González de Molina, Juan Infante Amate* 127
- VII. Sobre la sostenibilidad de los sistemas agrarios. Balances de nutrientes y sistemas de fertilización en la agricultura catalana a mediados del siglo XIX, *Enric Tello, Ramon Garrabou, Xavier Cussó, José Ramón Olarieta* 171
- VIII. El pan de la agricultura. Una aproximación al balance de nutrientes en la Navarra seca, CA.1800-1935, *José Miguel Lana Berasain* 217
- IX. Intensificación del abonado y crecimiento agrario en la agricultura catalana desde finales del siglo XIX hasta la actualidad: el ejemplo de la provincia de Barcelona y la comarca del Vallès, *Ramon Garrabou, Enric Tello, Xavier Cussó, José Ramón Olarieta* 255
- Referencias bibliográficas 297

PRESENTACIÓN

Este libro es un ejercicio de reconstrucción histórica de las técnicas de reposición de la fertilidad utilizadas en la agricultura árida y semiárida española antes de la llegada de los fertilizantes químicos de síntesis. Es continuación de otro ejercicio anterior, realizado a mediados de los años noventa, con el que tratábamos de comprender el funcionamiento de los sistemas agrarios tradicionales. Muchos aspectos de carácter teórico y metodológico quedaron entonces pendientes. Nuestro conocimiento de la agricultura de base orgánica o agricultura tradicional era bastante limitada como limitadas eran también las posibilidades de intercambio con otras disciplinas. El resultado de aquel primer ejercicio fue un puñado de trabajos reunidos en el libro *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica* (Naredo y Garrabou, 1996), del que este se declara sucesor. En esta ocasión hemos podido afinar la metodología utilizada y hemos dispuesto de fuentes detalladas e incluso hemos podido reconstruir las lagunas existentes en ellas mediante experimentación en campo, todo ello con el apoyo y la implicación de estudiosos de otras disciplinas, especialmente de la Agronomía, que han convertido a este libro en un ejemplo de las potencialidades del análisis interdisciplinar para el conocimiento del pasado. Un ejemplo no solo por el rigor en el análisis sino también por lo relevante de sus conclusiones desde el punto de vista historiográfico.

La primera de ellas emerge con fuerza: no es posible el comprender el desarrollo del sector agrario en los últimos tres siglos sin conocer en profundidad cómo se ha manejado la fertilidad del suelo. Tanto si fueron orgánicos como si fueron químicos, los fertilizantes han sido los principales responsables de las mejoras en la productividad de la tierra. Ello es de especial aplicación a agriculturas como la europea o

la asiática en las que la reposición de los nutrientes exportados con la cosecha constituyó una práctica cultural imprescindible para evitar la degradación de unos suelos cultivados por siglos y asegurar la viabilidad de las cosechas futuras. El estudio de los sistemas de fertilización resulta, pues, imprescindible para entender el crecimiento agrario y los procesos de intensificación de los suelos agrícolas europeos desde el siglo XVIII. Y esto es de particular interés para los suelos mediterráneos, donde las condiciones ambientales limitaron la disponibilidad de materia orgánica y la reposición de la fertilidad se convirtió en un factor crítico de su funcionamiento productivo.

La obra se abre con una introducción sobre la reposición de la fertilidad en sistemas agrarios de base orgánica y su evolución hasta desembocar en el uso masivo de fertilizantes químicos. La productividad primaria de los agroecosistemas estaba limitada, como los ecosistemas naturales, por la disponibilidad de agua y nutrientes. Los agricultores aprendieron pronto que el incremento de los rendimientos estaba asociado a la abundancia relativa de estos factores y desarrollaron prácticas culturales que trataron de maximizar su uso interfiriendo en los ciclos biogeoquímicos (Gliessman, 2002). Las labores agrícolas trataban de interferir en los ciclos del carbono, del nitrógeno y del fósforo, en el ciclo hidrológico y en los mecanismos de regulación biótica. Fue en estos campos donde, lógicamente, se concentraron las principales innovaciones que experimentó la agricultura desde la revolución neolítica hasta su industrialización, ya en el siglo XX. El manejo del carbono se hizo mediante la aplicación de materia orgánica, que contenía también cantidades apreciables de nitrógeno, fósforo y potasio. De esa manera la reposición de la fertilidad se convirtió en el factor crucial del que dependió el volumen y la estabilidad de la producción agrícola.

Como es sabido, el nutriente más limitante de la productividad de los agroecosistemas es el nitrógeno (N), no solo porque es el más demandado por las plantas sino también porque su disponibilidad en el suelo es escasa, dependiendo de las posibilidades de su captura de la atmósfera. Por su parte el fósforo, cuyas reservas no están en la atmósfera sino en el suelo y suelen ser abundantes, se convirtió en factor limitante debido a su baja disponibilidad para las plantas. Una vez depositado en los tejidos de estas y consumido en forma de biomasa por los organismos heterótrofos (animales herbívoros, animales domésticos y el hombre) su vuelta al suelo y el correspondiente cierre del ciclo dependía del uso que se hiciese de las excretas de los dos

últimos. Las prácticas agrarias trataban, por tanto, de movilizar —a falta de la producción sintética de fertilizantes y de reservas de rocas fosfatadas— los nutrientes de las distintas partes de los agroecosistemas y de la atmósfera que los envolvía. Con tales prácticas, los agricultores trataban de reponer las pérdidas provocadas por la cosecha y procesos naturales como la lixiviación, volatilización, etc.

Son muchas, muy variadas e incluso algunas sofisticadas, las prácticas de fertilización que desarrollaron las culturas preindustriales, obligadas por la necesidad de no agotar sus fuentes de aprovisionamiento. La mayoría de los nutrientes se reponían devolviendo a la tierra los residuos animales y vegetales, esto es, reciclando los residuos orgánicos (estiércoles, materia orgánica del sotobosque, huesos triturados, aguas fecales, pozos ciegos, quema de biomas y adición de cenizas, uso de sedimentos, etc.). Quizá el más extendido fue la aplicación de las excretas ganaderas, cuyo manejo fue perfeccionándose a lo largo del tiempo, sobre todo en Europa y en el este de Asia. Pero los estiércoles eran escasos y se requería gran cantidad de trabajo para aplicarlos. La recogida, fermentación y transporte de estos residuos comportaba pérdidas muy importantes en el contenido de los nutrientes. Los agricultores debían aplicar enormes cantidades de estiércol para reponer la fertilidad. Su disponibilidad estuvo siempre limitada.

La escasez fue en muchos territorios algo estructural, por ejemplo en climas con pocas precipitaciones y baja producción de biomasa, donde la cabaña ganadera no podía ser lo suficientemente grande como para atender las necesidades de fertilización. La escasez obligó en muchas latitudes a la utilización del barbecho. Las carencias de nutrientes se paliaron también mediante el uso de abonos verdes y la siembra de leguminosas en rotación con otros cultivos, maximizando el aporte de nitrógeno. El abono verde fue bastante utilizado en Europa desde la edad antigua y también fue usado en el este asiático. La combinación de leguminosas y abonos verdes, barbechos y cereales dio lugar a la práctica de las rotaciones, que constituyeron la manera energéticamente más eficiente de optimizar las posibilidades de la agricultura tradicional (Van Zanden, 1991). Con ellas no solo se procuraba reponer la fertilidad sino que se controlaba la proliferación de la flora arvenses y de las plagas y enfermedades de las plantas. La sucesión de varios cultivos (granos, tubérculos, oleaginosas, fibras, etc.) disminuía además el riesgo de fracaso de la cosecha y permitía una mejor adaptación tanto a las condiciones de suelo y clima como a las preferencias dietéticas. Rotaciones y policultivos constituían en definitiva una manera eficiente

de asegurar la autosuficiencia alimentaria e incluso de mantener altas densidades de población con la misma cantidad de tierra.

En Europa aquella larga tradición que consideraba los métodos de reposición de la fertilidad como la base de una agricultura próspera se vio reforzada primero al imponerse la teoría mineralista sobre la nutrición vegetal y en segundo lugar porque la experiencia agraria inglesa, holandesa y de otras regiones atlánticas demostró que era posible mejorar los rendimientos incrementando las dosis de abonado mediante la mejora de los sistemas orgánicos tradicionales (supresión del barbecho, introducción de leguminosas forrajeras, incremento del contingente ganadero).

La situación empezó a cambiar con la consolidación de los procesos de intensificación que se dieron en la Europa Atlántica, la creciente integración global de los mercados, y la difusión de un ideario «productivista» estrechamente unido a la visión unilateralmente «mineralista» del suelo que consideraba la mejora de los rendimientos un objetivo prioritario e ineludible. En este contexto las explotaciones más pobres y peor dotadas de recursos, o los sistemas agrarios que fueran incapaces de *incrementar* las dosis de abonado para alcanzar y sostener productividades más altas, podrían entrar en una situación de «insostenibilidad» relativa al cambio experimentado en su entorno económico y social que las forzaba a competir con otras mejor dotadas —o en las que se practicaba una rápida «minería de nutrientes», como en las llanuras de los Estados Unidos y otras partes del Nuevo Mundo. La fertilización sintética, impulsada desde los años treinta y desarrollada a gran escala con la llamada «revolución verde» durante la segunda mitad del siglo XX, resolvió aquel problema trasladándolo a otro lugar y creando otro mayor. Pues los métodos de fertilización también afectan a la sostenibilidad del agro-ecosistema desde otra vertiente, la del origen y destino de las materias utilizadas como nutrientes, y fue hacia ella donde se desplazaría el anterior «coste territorial» de las agriculturas basadas en la fertilización orgánica. Tradicionalmente las sustancias empleadas como fertilizantes habían sido materias orgánicas producidas en el mismo territorio, y tanto por su origen o composición como por la escala de uso no generaban residuos nocivos. Pero desde fines del siglo XIX fue adquiriendo importancia el uso de abonos minerales e industriales, primero como mero complemento del estiércol animal, e imponiéndose después como su completo sustituto tras la Segunda Guerra Mundial. Dada su condición de materias no renovables, la dependencia de aquellas fuentes de nutrientes basadas en los combustibles fósiles ya comporta en sí

misma problemas de sustentabilidad. Éstos se han visto, además, muy agravados después por los efectos contaminantes del empleo excesivo y agro-ecológicamente ineficiente de esos fertilizantes químicos en el marco de una agricultura intensiva territorialmente desencajada de la explotación ganadera y los usos forestales, trastocando por completo el metabolismo social agrario, convirtiendo a las explotaciones agrarias y las granjas de engorde en extensas fuentes de contaminación difusa.

El propósito del libro es examinar la evolución de la agricultura española durante los siglos XVIII, XIX y buena parte del XX a la luz los manejos de la fertilidad y su evolución a lo largo del tiempo. Pero su descripción y sistematización no son suficientes para abordar con garantías la tarea. Deben someterse a una evaluación de su eficacia, tanto a corto como a largo plazo, como de su impacto sobre el conjunto del agroecosistema, esto es de su sostenibilidad. Para ello hemos utilizado la técnica del balance de nutrientes, que permite detectar problemas agronómicos y en general ambientales asociados a la implementación de dichos manejos. Riesgos de contaminación por lixiviación de nitrógeno, eutrofización de aguas continentales, degradación química del suelo, pérdida de su capacidad potencial de producción se suelen detectar usando esta técnica en las condiciones de la agricultura actual, caracterizada por la abundancia relativa de macronutrientes. Pero también sirve para la situación contraria, característica de las agriculturas de base orgánica, esto es, la de escasez estructural de nutrientes y los fenómenos asociados a ella como los de suficiencia o insuficiencia de la fertilización, deficiencias nutricionales, o la minería de las reservas del suelo. Sirve, por tanto, para poner de manifiesto, dada la estrecha relación entre productividad del suelo y reposición de nutrientes, los avatares, limitaciones y oportunidades del desarrollo de la agricultura española y europea antes de la generalización en los años cincuenta y sesenta del siglo XX de los fertilizantes químicos de síntesis. Sirve, además, dado su acusado carácter limitante de la producción en las condiciones edafoclimáticas mediterráneas, para entender el funcionamiento y la dinámica evolutiva de los sistemas agrarios en su conjunto.

El texto de Roberto García et al. (capítulo II) propone un modelo de balance de nutrientes especialmente ideado para su aplicación al pasado. En él se define cada término del balance y se precisa la información que el usuario debe introducir en el modelo. Para facilitar su comprensión, se ha utilizado como ejemplo el caso de estudio de Montefrío (Granada, véase el capítulo VI). En sus distintos apartados se afrontan problemas como los derivados de la falta de información

cuando se trata de estudiar el pasado y la incertidumbre respecto a los datos proporcionados por las fuentes. No obstante, aquella información que no puede ser obtenida y contrastada con fuentes documentales u orales ha sido reconstruida mediante una doble estrategia que resulta novedosa y que muestra la virtualidad cognitiva de la colaboración interdisciplinaria. Nos referimos, por un lado, a la construcción de modelos para la recreación de valores que no pueden ser medidos en campo o se carece de información suficiente. Estos modelos simulan las condiciones que debieron existir en el pasado. Por ejemplo, ante la imposibilidad de medir el contenido de materia orgánica en los suelos, se puede elaborar un modelo que en función del manejo de la fertilidad, del destino de los residuos vegetales, del pastoreo, etc. y de las características del suelo (textura, ph, etc.) permita una aproximación razonable al contenido en materia orgánica de un terreno sometido a un cultivo o a una rotación concretas.

La otra estrategia practicable la hemos llamado *historia experimental* (Guzmán Casado y González de Molina, 2009) y consiste en la puesta en marcha de ensayos «de campo» que permitan reproducir las condiciones de manejo de la agricultura tradicional para evaluar directamente variables. Dado el elevado coste que tienen, se ha utilizado información proveniente de investigaciones en agricultura ecológica. Los estudios de caso que se recogen al final de esta obra se han beneficiado de varios ensayos que han proporcionado, con mayor precisión y exactitud, valores a algunas de las variables empleadas en los balances para los casos de Andalucía (Montefrío y Castilleja de la Cuesta) o Cataluña (Sentmenat). Uno proviene del estudio de agroecosistemas con manejo ecológico y se refiere a la fijación de nitrógenos por las cubiertas vegetales espontáneas en cultivos de cereal y olivar (véase el capítulo VI), otro del ámbito de la biotecnología y, finalmente, otro con el que se ha pretendido entender el funcionamiento de una de las técnicas de fertilización, los llamados *formiguers*.

Muy útil para la elaboración del balance para los estudios de caso de Andalucía ha sido el trabajo resumido en el capítulo III, surgido del ámbito de la biotecnología agraria con enfoque agroecológico, y dedicado a evaluar determinadas cualidades de las variedades de semillas tradicionales. El trabajo recoge lo esencial de los resultados de un ensayo actual realizado con variedades de trigo tradicionales y modernas simulando las condiciones de manejo propias de la agricultura tradicional frente a las actuales. Éstos muestran que el estilo de manejo y el tipo de variedad tienen una importante influencia en la composición mine-

ral de la cosecha. Por tanto, para el cálculo de balances de nutrientes comparativos entre distintos escenarios históricos, es imprescindible considerar tanto la productividad de la tierra, como la composición elemental de la cosecha, por ejemplo cuántos kilos de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) extraen. Dado que esta última variable no puede ser medida directamente para el pasado, es necesario atribuirle valores que sean coherentes con las circunstancias en que se realizaba la producción, esto es bajo condiciones propias de una agricultura orgánica tradicional. Los resultados muestran que las variedades antiguas con manejo tradicional extraían menos macronutrientes que las variedades modernas con manejo convencional, pudiéndose interpretar estas características como una respuesta adaptativa de las plantas ante la escasez de estos minerales. Los datos de extracción han permitido dotar de un rigor mucho mayor a los balances, evitando así la utilización de valores calculados para variedades y manejos actuales, distorsionando sus resultados.

En el capítulo V José Ramón Olarieta aborda, junto a R. Padrò, G. Massip, R. Rodríguez-Ochoa, E. Vicedo, y E. Tello, el estudio agronómico e histórico del antiguo método de fertilización conocido en los diversos territorios de la antigua corona de Aragón con el nombre de «hormigueros» (o *formiguers*, en catalán). Consistía en la combustión lenta y anóxica, a modo de pequeñas carboneras, de un cierto número de pilas de biomasa procedente del aclareo de bosques o matorrales, y de la poda de todo tipo de cultivos leñosos, cubiertas de tierra del propio campo que se realizaban durante el verano. Luego se abría cada «pila» por la parte superior para que las lluvias de otoño empaparan la tierra quemada junto a los carbones y cenizas, y se incorporaran al suelo con el primer arado de rastros, viñas u olivares. Pese a ser un procedimiento bien conocido por los historiadores agrarios del tercio nororiental peninsular, y también en otras áreas del mundo como el norte de la India o el Amazonas, sigue siendo ignorado por la historiografía de otras zonas donde nunca se practicaron tales *hormigueros*, como la Europa Atlántica o el suroeste de la península ibérica. Excepto un primer trabajo de carácter más bien antropológico publicado en *Historia Agraria* el año 2004 por J. Miret, tampoco se ha estudiado de manera sistemática ese método de fertilización ni qué aportes concretos suponía para la fertilidad del suelo.

Combinando diversas fuentes documentales con la tradición oral, y los resultados de laboratorio obtenidos con la realización de un *hormiguero* experimental en un campo, Olarieta y sus colaboradores llegan a

la conclusión de que prácticamente todo el nitrógeno contenido en la biomasa quemada o en la materia orgánica del suelo se perdía por volatilización, de modo que las únicas aportaciones significativas serían algo de fósforo y una importante cantidad de potasio contenido en las cenizas y carbones. Subsisten sin embargo varias cuestiones importantes aún por investigar y resolver. Si se trataba únicamente de incorporar potasio a los campos y vides, ¿por qué se tomaban el considerable trabajo de cubrir con tierra la combustión de biomasa? Olarieta y sus colaboradores ofrecen dos respuestas tentativas de mucho interés, tanto para un mejor conocimiento del manejo agrario de la fertilidad del suelo por las viejas culturas campesinas del Mediterráneo, como para futuros desarrollos de la agricultura ecológica. Ambas se refieren a la compleja biología del suelo, más allá de los simples términos de un balance de nutrientes minerales que —como recuerda José Manuel Naredo— puede convertirse en una simple «caja negra» que ignore su funcionamiento ecológico. La primera hipótesis apunta al papel de los carbones en la microbiología edáfica, y está despertando un renovado interés por su papel en el almacenamiento de carbono en el suelo con relación al cambio climático.

La segunda proviene de los planteamientos y experimentos realizados en 1949 por un agrónomo y un químico en la Estación de Viticultura y Enología de Vilafranca del Penedès, y se refiere al importante papel «desinfectante» que la tradición oral campesina había atribuido siempre a los *hormigueros*: la combustión no solo aceleraba la mineralización de la materia orgánica contenida en el suelo que los recubría, o sobre el que se asentaban; también eliminaba en él casi la totalidad de microorganismos y poblaciones bacterianas, salvo algunas bacterias capaces de enquistarse y sobrevivir a elevadas temperaturas. Cuando aquella tierra casi esterilizada se mojaba e incorporaba al suelo, se producía una explosión de aquellas poblaciones bacterianas que a menudo eran también fijadoras de nitrógeno. Así pues, tanto mediante la incorporación de carbones como a través del aumento de la temperatura del suelo, los *hormigueros* podían haber servido también para alterar las poblaciones microbianas del suelo en un sentido favorable a la fijación libre de nitrógeno, y la aceleración de la mineralización de los compuestos húmicos contenidos en la materia orgánica.

Aunque no está directamente relacionado con los estudios de caso que contiene este libro, hemos decidido incluir en él (capítulo IV) la rica experiencia desarrollada en la finca La Higuera (Santa Olalla, Toledo) por varios investigadores vinculados a la Junta de Castilla-La Mancha y el CSIC. Finca en producción ecológica. No sólo hemos

destacado la idoneidad de estos experimentos para proporcionar datos relevantes con que elaborar los balances de nutrientes, sino también es necesario entender el funcionamiento de los sistemas agrarios tradicionales, incluida la reposición de la fertilidad. Evidentemente, la agricultura ecológica posee elementos comunes a la agricultura tradicional: no usa plaguicidas, la fertilización es orgánica, suele incluir leguminosas en las rotaciones para obtener nitrógeno, etc., pero difiere en muchos otros: grado de mecanización, técnicas de riego, uso de energía fósil, etc. Pese a las diferencias, y en cuanto a la cuantificación de las variables que nos exigen los modelos de balance de nutrientes, mucha de la información de estos ensayos de larga duración puede ser útil.

La información que ofrecen los experimentos realizados en La Higuera es muy valiosa para entender cuestiones tan importantes como las labores tradicionales y el porqué de su realización. Su lectura permite rechazar la idea tan arraigada en nuestra historiografía de unas prácticas agrarias tradicionales ineficientes, primitivas y, por tanto, atrasadas. Desde la perspectiva del manejo de la fertilidad, dos prácticas tradicionales merecen destacarse ya que han sido claves para la productividad y estabilidad de las cosechas en condiciones similares al secano tradicional en España: la incorporación de residuos al suelo y el uso de las leguminosas en rotación con el cereal. Pero la conclusión más importante que extraen los autores es muy relevante desde la perspectiva de los objetivos de este libro: los agroecosistemas de secano en climas áridos y semiáridos como los nuestros resultan rentables y son a la vez sustentables ambientalmente si se manejan de manera ecológica, ciertamente aplicando tecnologías modernas pero sobre todo recuperando prácticas tradicionales. Ello no solo cuestiona la calificación de atrasado del manejo dispensado al secano tradicional español hasta al menos la Guerra Civil, sino significa también una reivindicación en toda regla de las formas tradicionales de manejarlo desde la perspectiva de la producción ecológica. Su crisis no fue resultado de su propia ineficiencia sino de otras circunstancias de contexto que, precisamente, los estudios de caso incluidos en este libro ponen de manifiesto.

Precisamente a los estudios de caso está dedicada la segunda parte de este libro, en los que se ha aplicado los métodos y valores señalados los capítulos anteriores. Las zonas elegidas son representativas de la España Seca por su diversidad edafoclimática y orientaciones productivas, situadas en Andalucía, Cataluña y la Navarra Seca.

El primero de ello está referido a Andalucía a partir del análisis de dos estudios de caso, uno de la parte occidental (Castilleja de la Cues-

ta, Sevilla), más vinculado a los mercados, y otro a la parte oriental (Montefrío, Granada), más aislado; el primero más representativo de la especialización productiva que experimentó la agricultura andaluza durante el siglo XIX y el otro más orientado hacia la subsistencia. El estudio abarca prácticamente siglo y medio, desde mediados del siglo XVIII hasta los años finales del siglo XIX, en plena crisis finisecular y, por tanto, su principal argumento es el cambio que experimentaron los dos sistemas agrarios visto desde la perspectiva de la reposición de la fertilidad. La profundidad temporal del análisis permite destacar conclusiones relevantes.

El trabajo muestra que en términos comparativos, los costes territoriales de la fertilización eran muy importantes en la Andalucía de los siglos XVIII y XIX. Ello era el resultado de la baja productividad primaria neta de sus agroecosistemas, que reducía las posibilidades de disponer de una cabaña ganadera abundante y, por tanto, de materia orgánica suficiente. Éste no fue un problema relevante mientras la densidad de población se mantuvo en niveles bajos. Pero cuando la población creció, especialmente durante las primeras décadas del siglo XIX, la demanda alimentaria obligó a mantener cabañas ganaderas más reducidas y una capacidad de fertilización también limitada, obligando a que una porción muy significativa del territorio agrícola repusiera de manera natural la fertilidad, esto es mediante el barbecho. Esta competencia entre los distintos usos del suelo explica en buena medida los, a primera vista, bajos rendimientos de la agricultura andaluza en estos años. La materia orgánica disponible se asignó a aquellas partes del territorio donde su uso podía reportar resultados mejores en términos productivos, los regadíos y los terrenos de riego más intensivamente cultivados. El resto del territorio cultivado debía reponer la fertilidad con el barbecho y el descanso, estaba «condenado» a la práctica de una rotación extensiva (al tercio).

Otro resultado relevante del trabajo es que cada comunidad local debía buscar un equilibrio lo más ajustado posible entre las necesidades de alimentación humana y animal, lo que limitaba a su vez las posibilidades de intensificación productiva. El ajuste fino entre ambos factores es muy relevante para comprender los límites del crecimiento de la producción agraria. En este sentido, la evolución que dibuja el trabajo se puede resumir en el paso de una situación a mediados del siglo XVIII en la que existía una gran cantidad de ganado y poca mano de obra a la situación contraria a mediados del siglo XIX, una gran cantidad de población y poca capacidad de fertilización. En ese sentido, el trabajo

muestra también que durante la segunda mitad del siglo XIX se había llegado a un relativo estancamiento en las posibilidades de fertilización. Las tierras dedicadas a la alimentación humana crecieron a costa de las dedicadas a la alimentación animal, provocando la disminución del tamaño de la cabaña ganadera y la reducción neta de su capacidad de fertilización. Como consecuencia de ello, las posibilidades de una mayor intensificación de los cultivos se vieron fuertemente limitadas.

Los balances de nutrientes muestran los efectos del crecimiento agrario en un contexto ambientalmente limitado, ofreciendo dudas razonables sobre la estabilidad a medio y largo plazo de algunas formas de cultivo. Los balances fueron positivos para los cultivos que recibían estiércol, en tanto fueron negativos para aquellos que no recibían abono ninguno. Algunas rotaciones de cereales y algunos cultivos leñosos como el olivar pudieron mantenerse gracias a la fijación de N que realizaban las plantas leguminosas existentes en las cubiertas naturales en las calles o años de descanso. No ocurrió lo mismo con el P y el K ni con otros cultivos leñosos como la vid. Durante el siglo XVIII, las extracciones netas de la vid y del olivar estuvieron dentro de unos límites tolerables, gracias a manejos poco intensivos. Las extracciones crecieron, sin embargo, a medida que el cultivo se hizo más intenso, impulsado por la apertura de nuevos mercados. La entidad de los déficits de los balances cuestiona la sostenibilidad de la especialización leñosa, propuesta como una de las vías practicables de crecimiento agrario durante el siglo XIX. Ésta se sostuvo sobre la exportación de bienes fondo. El que el crecimiento de la superficie de viña y olivar se hiciera preferentemente sobre suelos incultos, que tenían prácticamente intactas sus reservas de nutrientes, explica quizá que el fenómeno no fuera advertido por los contemporáneos.

En cualquier caso, los balances muestran que en las últimas décadas del siglo XIX se había llegado al tope de la intensificación productiva con una cabaña ganadera estancada o en claro retroceso. Los déficits de nutrientes comenzaron incluso a superar la capacidad de fertilización de la propia cabaña ganadera. La intensificación sufrida en las rotaciones y cultivos no fertilizados, se tuvo que sostener sobre una extracción mayor de las reservas del suelo. El crecimiento agrario se hizo, pues, a expensas de las reservas del suelo.

El capítulo VII está dedicado al estudio de los manejos de la fertilidad en la agricultura catalana a mediados del siglo XIX, concretamente en la década de los años sesenta. En él se recoge un balance de nutrientes en uno de los municipios de la comarca del Vallés, concretamente en

el municipio de Sentmenat, con el que los autores evalúan la viabilidad de tales manejos. Las conclusiones que el ejercicio permite extraer son igualmente relevantes y en buena medida coincidentes con el caso andaluz. La cantidad de nutrientes disponible para sostener la fertilidad del área de cultivo en una agricultura orgánica altamente intensiva como la practicada en el municipio de Sentmenat en 1860 *podía* llegar a ser en buena medida suficiente para reponer los nutrientes exportados con la cosecha. Las dotaciones disponibles de estiércol animal y excrementos humanos solo permitirían cubrir un 50% del nitrógeno, la totalidad del fósforo y un 40% del potasio requerido.

La clave del sistema residía en si otras formas de fertilización orgánica podían cubrir o no la diferencia. Destacan especialmente dos por su importancia: la fijación simbiótica de nitrógeno mediante el cultivo de leguminosas, o su empleo como abono verde, que según los cálculos de su autores permitiría cubrir alrededor de un 38,5% de las extracciones, y la aportación de potasio a través de la quema de biomasa en hormigueros, que debería haber cubierto cerca de un 20% del requerido para equilibrar el balance del agro-ecosistema en su conjunto.

A la vista de ello, los autores concluyen que el principal factor limitante de la producción agrícola no parece haber sido de carácter biofísico, sino técnico y económico. La clave de la escasez de materias fertilizantes orgánicas habría estado en la cantidad real de abono aprovechable, habida cuenta de las pérdidas registradas en estercoleros, letrinas, pozos negros, cloacas y hormigueros. Por otro lado, la enorme cantidad de trabajo humano y animal que había que invertir en la movilización de las materias fertilizantes potencialmente disponibles, habría actuado como elemento disuasorio en función del coste de oportunidad y la productividad marginal decreciente de su empleo. En cualquier caso, los autores coinciden en el mismo diagnóstico con los de los casos andaluces: el margen para aumentar los rendimientos agrícolas mediante una fertilización más intensa del área cultivada era muy limitado a menos que se cambiara el sistema de uso del suelo en la dirección señalada por los agrónomos coetáneos, aumentando la siembra de leguminosas, especialmente de leguminosas forrajeras.

Del caso catalán se sacan conclusiones similares a los referidos casos de Andalucía en relación a los costes territoriales de la fertilización en sistemas agrarios de base orgánica. Las estrategias de fertilización vegetal alternativas al estiércol, que era crónicamente insuficiente en la biorregión mediterránea por la carencia y la pobreza de pastos naturales o praderas artificiales, exigían, según Enric Tello et al., importantes

transferencias de nutrientes a los suelos cultivados desde las áreas de bosque, matorral o yermo que no pasaban mayoritariamente a través del ganado, sino por la quema de leña en hormigueros o el entierro de biomasa en los plantíos. Además de ser muy intensivas en trabajo humano, aquellas transferencias imponían a los espacios incultos un elevado tributo en nutrientes, potasio muy en particular, que debía ser compatible con las extracciones simultáneas de madera, leña o carbón vegetal empleados como combustible. En ese sentido, el coste territorial de la fertilización de las tierras de cultivo era soportado en gran medida en la comarca del Vallès por el uso múltiple y a veces excesivo de unas áreas de bosque y matorral que tendieron a sobreexplotarse.

En el tercer trabajo (capítulo VIII) se realiza una primera aproximación a los balances de nutrientes en los sistemas agrarios de Navarra entre los siglos XIX y XX, más concretamente en la ciudad de Tudela y su término, de rasgos climáticos mediterráneos. Los resultados muestran que, pese al incremento global de las cantidades de nutrientes incorporados a las tierras de cultivo, la aportación media de nutrientes por hectárea disminuyó entre un 5% y un 35%, dependiendo de la fecha y elemento elegido. Los balances muestran una clara insuficiencia global de nitrógeno y potasio que, aunque el autor no lo menciona, nos hacen pensar en la existencia también en Navarra ya finales del siglo XIX de un fenómeno de minería de nutrientes.

Las causas profundas de estos déficits de nutrientes, especialmente agudos para el nitrógeno a partir de los años ochenta del siglo XIX, son las mismas que ya hemos visto para los casos estudiados en Andalucía. Según Lana Berasain, durante el siglo XIX se produjo el desmantelamiento de las estructuras institucionales del feudalismo, con cambios importantes en las estructuras de propiedad de la tierra y una integración de mercados sin precedentes. Esos cambios institucionales fueron acompañados de un profundo deterioro del balance de nutrientes debido al efecto combinado de la enorme expansión de las roturaciones y la crisis de la ganadería extensiva. La expansión de los requerimientos de nutrientes y el bloqueo de la oferta de los mismos condujo a una escasez relativa de fertilizantes que los agrónomos españoles del último tercio de ese siglo convirtieron en un lugar común. Lana Barasain señala un fenómeno que refleja la escasez y que es coincidente con lo ocurrido en Santa Fe (Granada) (González de Molina y Guzmán Casado, 2006): una firme tendencia al encarecimiento del estiércol durante el siglo XIX, que llegó a multiplicarse por más de 3,5 entre 1820 y 1884.

De los tres trabajos que abordan estudios de caso es posible extraer algunas conclusiones complementarias de carácter general que refuerzan la conveniencia para el historiador agrario de recurrir a estudios como estos, que tratan de reconstruir los manejos de la fertilidad y evaluar su sostenibilidad. La reposición de la fertilidad tiene, cuando se trata de sistemas agrícolas, un *coste territorial* (Guzmán Casado y González de Molina, 2009) que oscila en función del manejo y de la entidad de las extracciones netas de nutrientes que causa el cultivo. Ya sea mediante el uso del barbecho y el descanso, ya sea mediante el cultivo itinerante, ya sea mediante el uso de los nutrientes depositados en otras zonas del agroecosistema, el caso es que la reposición de la fertilidad requiere la disposición de territorios subsidiarios que, por tanto, no pueden ser utilizados para el cultivo. Del mismo modo que la producción de biomasa requiere una cantidad determinada de territorio donde las plantas puedan realizar la función fotosintética, su alimentación demanda, si no se quiere agotar las reservas del suelo y hacerlo inútil para el cultivo, también una cantidad determinada de territorio de donde extraer esos nutrientes. El trabajo humano o el ganado fueron en este tipo de agriculturas de base orgánica los que por su mediación movilizaron los nutrientes depositados por miles de años en bosques y tierras de pasto. En cambio, la agricultura industrializada actual es capaz de externalizar los costes territoriales de la fertilización utilizando la misma estrategia que usa para inyectar grandes cantidades de energía no provenientes del sol, mediante la fabricación de fertilizantes sintéticos con minerales extraídos de la corteza terrestre y combustibles fósiles, es decir, mediante la explotación del subsuelo.

Los agricultores desarrollaron antes de la difusión de esos fertilizantes industriales prácticas de manejo que pretendían reducir dicho coste territorial. Práctica que se ha solido identificar en la Historia Agraria con el ahorro de tierra y que tiene que ver con la presión creciente de la población o del mercado para incrementar la producción de alimentos y materias primas. Entre estas prácticas pueden citarse la siembra de leguminosas, la siembra de abonos verdes, los hormigueros, la utilización de excrementos animales y humanos y residuos orgánicos de origen urbano, etc. En cualquier caso, los trabajos aquí reunidos muestran que el factor crítico a partir de un determinado momento del desarrollo de la agricultura orgánica tradicional en España, que por supuesto es aplicación general al desarrollo de la agricultura europea, fue cómo reducir aún más el coste territorial de la fertilización. En otros términos, la reposición de la fertilidad se convirtió en el factor clave de la sustentabilidad del metabolismo agrario de base energética

orgánica y desempeñó, además, un papel clave en el inicio de la transición hacia un metabolismo agrario de naturaleza industrial (Fischer-Kowalski and Haberl, 2007). La salida de la crisis finisecular, basada en la especialización productiva y en una elevación de los rendimientos por unidad de superficie, solo fue posible cuando logró superarse la escasez estructural de fertilizantes, como ya defendimos en otros textos (González de Molina y Pouliquen, 1996; González de Molina y Guzmán Casado, 2006), mediante la fabricación de abonos químicos de síntesis con combustibles fósiles.

Efectivamente, los estudios de caso ponen de manifiesto también que durante la segunda mitad del siglo XIX se había llegado a un relativo estancamiento en las posibilidades de reducción de unos costes que eran bastante elevados, dada la presión que se ejercía sobre los agroecosistemas europeos para que estos produjeran gran cantidad de alimentos y materias primas. El trabajo de Tello et al. sobre el Vallés afirma que el margen para aumentar los rendimientos agrícolas mediante una fertilización más intensa del área cultivada era muy limitado. El trabajo sobre Andalucía concuerda en el diagnóstico: en las décadas finales del siglo XIX se había llegado o se estaba muy cerca del límite de las posibilidades e intensificación de la producción agrícola e incluso el aumento de los rendimientos en algunos cultivos se hizo a expensas de las reservas del suelo. En definitiva y como sugiere José Miguel Lana en su trabajo sobre Navarra, una parte de los mediocres resultados del sector agrario español durante la segunda mitad de ese siglo habría que buscarlos precisamente en la incapacidad para resolver el cuello de botella de la oferta de fertilizantes.

Ello nos lleva a otras dos cuestiones relevantes: la idoneidad de la especialización leñosa y las nuevas explicaciones que a partir de los resultados compilados en este libro y en otros trabajos publicados recientemente es posible dar a la crisis agraria finisecular.

Los estudios de caso realizados para Andalucía muestran que la especialización leñosa que tuvo lugar durante el siglo XIX, sobre todo la expansión de la viña y en menor medida del olivar tuvo problemas de sostenibilidad que no fueron advertidos o fueron sorteados mediante la roturación de tierras incultas que por tanto tenían intactas sus reservas de nutrientes tras siglos sin cultivar. La minería de nutrientes sostuvo en buena medida la especialización leñosa. Aunque no se hace alusión expresa a este tema en los trabajos sobre el Vallés y sobre Tudela, parece claro que la competitividad de la especialización vitícola, a partir de la crisis filoxérica, solo pudo mantenerse con el recurso de la fertilización

química. Ello sugiere que los relativamente bajos rendimientos de la vid y del olivar en una etapa de precios altos eran suficientemente remuneradores, pero un mercado cada vez más competitivo exigió incrementar los rendimientos y esto solo era posible con la aplicación de fertilizantes químicos.

Un argumento más para una nueva y complementaria manera de interpretar la crisis agraria finisecular. Los trabajos incluidos en este libro coinciden en ello con otro recientemente publicado (Cunfer and Krausmann, en prensa). La crisis finisecular debe explicarse no solo por la entrada de trigos baratos en Europa, sino por la entrada en contacto de tipos de agricultura con sistemas de reposición de la fertilidad muy diferentes. Los costes territoriales de la agricultura europea, y en mayor medida la mediterránea, eran superiores a los que soportaban las agriculturas americana o australiana. La intensificación experimentada por la agricultura europea, en particular en las regiones central y occidental, durante los siglos XVIII y XIX y la elevación de los rendimientos que siguió a la primera revolución agrícola, había tenido mucho que ver con las mejoras de los métodos de fertilización. Sin embargo a principios del siglo XX estas técnicas de reposición de la fertilidad mostraron signos de agotamiento y se mostraron incapaces de impulsar incrementos de los rendimientos, imprescindibles en un mercado cada vez más competitivo y empezó a recurrirse de forma creciente a los abonos industriales y minerales. Se tiene la impresión que el incremento de la productividad no podía sostenerse con la fertilización orgánica, aunque sería conveniente explorar si realmente se había llegado a un techo insuperable, ni sobre las reservas de unos suelos que habían sido cultivados ininterrumpidamente durante cientos de años. No ocurrió así con países como Estados Unidos o Australia, donde las reservas de nutrientes en suelos recién roturados eran muy elevadas. Los costes territoriales de la fertilidad fueron comparativamente menores gracias a la minería de nutrientes. La crisis agraria finisecular sobrevino, traducida en precios más bajos para los productos agrarios de ultramar, cuando la revolución en el transporte marítimo puso en contacto ambas agriculturas con costes territoriales tan dispares. En ese sentido, se podría decir que las agriculturas americana o australiana practicaron una especie de «dumping ecológico». En consecuencia, la escasez relativa de nutrientes, agudizada por la rotura del equilibrio territorial que trajo consigo el crecimiento de la producción agraria durante el siglo XIX en Europa, se encuentra entre las causas profundas que provocaron la crisis finisecular e iniciaron la transición socio-ecológica en el campo.

Efectivamente, este fue el portillo por el que se «colaron» en la agricultura los combustibles fósiles, hasta entonces utilizados en el sector industrial (Fischer-Kowalski y Haberl, 2007), iniciando con ello la transición hacia un modelo energético diferente en la agricultura. La salida de la crisis finisecular, basada en la especialización productiva y en una elevación de los rendimientos por unidad de superficie, solo fue posible cuando la agricultura europea logró superar la escasez estructural de fertilizantes, mediante la adición de abonos químicos de síntesis fabricados con combustibles fósiles.

El trabajo que cierra este libro confirma esos extremos. En él se identifica el crecimiento agrario experimentado por la agricultura catalana desde finales del siglo XIX con la generalización de la fertilización química. Termina con la reconstrucción completa del balance de nutrientes del municipio de Sentmenat en la comarca barcelonesa del Vallès Occidental hacia finales del siglo XX, a través del cual los autores pretenden analizar los resultados de la implantación de un nuevo modelo de fertilización. Lo primero que destacan es que, hasta el triunfo definitivo de la fertilización química durante la llamada Revolución Verde, la fertilización orgánica y los fertilizantes químicos coexistieron y se combinaron en la mayoría de las explotaciones. Durante el primer tercio del siglo XX el aumento del consumo de abonos minerales o industriales llegó a suponer un aporte significativo de nutrientes en la provincia de Barcelona, pero en cantidades que en ningún caso permitieron renunciar a los anteriores métodos orgánicos de fertilización, y en especial a la aportación del estiércol animal. Los fertilizantes de procedencia industrial en todo caso compensaron la ligera caída en la disponibilidad de estiércol por unidad de superficie originada por el aumento del área cultivada. Desde comienzos del siglo y hasta los años treinta del siglo XX la disponibilidad y el consumo de materias fertilizantes se incrementó de forma significativa.

Los nuevos abonos de origen industrial actuaron inicialmente como una respuesta a las dificultades para incrementar las disponibilidades de estiércol, y como un sustituto parcial de algunas de aquellas otras formas de fertilización vegetal que en las agriculturas orgánicas avanzadas del Mediterráneo Occidental complementaban la carencia de pastos y ganado. Dado que se trataba de sistemas muy altamente intensivos en trabajo, el encarecimiento de los jornales que se produjo durante el primer tercio del siglo XX debió estimular su sustitución a medida que los precios de los fertilizantes industriales fueron reduciéndose lentamente. Sin embargo, la necesidad de competir en unos mercados

progresivamente globalizados exigía simultáneamente un alza de rendimientos que tendía a superar el margen de posibilidades existentes en el marco de las agriculturas orgánicas, y eso favorecería que el uso de abonos industriales fuera más complementario que sustitutivo de los anteriores sistemas de fertilización orgánica.

¿En que medida debemos considerar, se preguntan los autores, un «atraso» aquella permanencia de los sistemas orgánicos de restitución de la fertilidad, y aquel consumo todavía relativamente bajo —aunque significativo— de fertilizantes industriales? El trabajo hace alusión al pensamiento dominante entre los agrónomos de la época y se concluye que hasta mediados del siglo XX se siguieron concibiendo los fertilizantes minerales e industriales solo como un complemento de la fertilización orgánica. Fue a partir de la Segunda Guerra Mundial cuando la mayoría de la comunidad científico-técnica dejó de interesarse por el viejo problema del mantenimiento de la fertilidad en toda su complejidad agro-ecológica, decantándose por el uso preferente de los fertilizantes químicos de síntesis.

Las consecuencias de la pérdida casi total de los métodos de fertilización orgánica se pueden ver en el balance de nutrientes que los autores realizan para la localidad de Sentmenat, continuación del realizado en el capítulo VII. Los datos ponen en evidencia un importante despilfarro. Con la difusión de los fertilizantes químicos de síntesis se ha superado sin duda la escasez crónica de fertilizantes propia de las agriculturas de base orgánica, pero a costa de un despilfarro ineficiente que ha engendrado graves problemas de insostenibilidad ecológica.