



Evolución y perspectiva de la Química Agrícola

POR EL

DR. OCTAVIO CARPENA ARTES

Catedrático de la Facultad de Ciencias

Es evidente la inquietud de la Humanidad desde épocas muy preteritas por los problemas que hoy tienen cabida, resueltos o no, en el marco de la Química Agrícola; pero los fundamentos de ésta hay que buscarlos en períodos más recientes de la Historia, cuando el hombre sintió la necesidad de completar la observación con la experimentación.

Ya en el siglo XVIII, son motivo de preocupación científica los fenómenos de la fertilidad del suelo y del desarrollo de las plantas, como lo demuestra la búsqueda de lo que entonces se llamaba el «principio de vegetación». Para Francis Bacon, éste consistía, fundamentalmente, en el agua, opinión sustentada también por van Helmot después de su célebre experimento con un tallo de sauce (1), considerado como un modelo típico de los posibles en Química Agrícola, y que tal vez se inspirase en otro realizado 150 años antes por Cusa, con menor rigor científico. Aunque el método seguido fue, para las circunstancias de entonces, plenamente correcto —como lo prueba que otro científico prestigioso, Boyle, llegara a los mismos resultados al repetir la experiencia—, las conclusiones obtenidas no eran exactas, ya que no se tuvo en cuenta el papel desempeñado por el aire y las dos onzas escasas de suelo desaparecidas, absolutamente imprescindibles.

(1) GABRIEL, L. M. y FOGEL, S., *Great experiments in Biology*, Ed. Englewood. Cliffs, N. J. ¹ (1955), 155.



Entre otros trabajos de esta época, merecen destacarse dos principalmente: el de Woodward, que examinó con buen criterio los problemas de la fertilidad del suelo, atribuyendo los descensos de rendimiento de los monocultivos a la extracción y progresivo empobrecimiento de aquél en la sustancia nutritiva existente en un principio. Y el de Tull, que en 1731 ya concedía singular importancia a las partículas diminutas del suelo, considerándolas como base de la alimentación vegetal. Al final de este período, el conocimiento de los materiales que contribuían al desarrollo de las plantas era el siguiente: nitro, agua, aire, fuego y tierra.

Durante la segunda mitad del siglo XVIII, hubo un notable incremento de la experimentación y del número de publicaciones, particularmente en Gran Bretaña; así la Edinburgh Society, fundada en 1755, indujo a Francis Home «a ensayar hasta qué punto la Química podría llegar a establecer los fundamentos de la Agricultura» (2). Puede afirmarse que su libro constituye uno de los cimientos de la moderna Química Agrícola, al reconocer que la nutrición vegetal depende de varios factores y señalar los dos métodos a seguir para estudiar el problema: cultivos en maceta y análisis de la planta. Investigadores posteriores como Wallerius, el conde Dundonald y Quirwan, analizaron plantas, incrementaron la lista de nutrientes y contribuyeron en general a un conocimiento mayor, dados los límites entonces existentes para la Fisiología Vegetal y la Química.

Hasta este momento, se aceptaba de modo general que los vegetales se nutrían exclusivamente a través de sus raíces, por la absorción de agua y de humus procedente del suelo; pero los experimentos de Priestley, iniciados el 17 de agosto de 1771, abrieron un nuevo camino de investigación de trascendentales resultados. A él se debe el reconocimiento por vez primera de que el aire intervenía en la nutrición de las plantas. Desgraciadamente, para la interpretación de sus resultados experimentales, Priestley estuvo influido por la teoría del flogisto de Stahl, todavía dominante. No obstante, su trabajo demostró claramente que un equilibrio entre las actividades de las plantas y de los animales era el responsable de mantener una atmósfera capaz de soportar la vida. Este importante concepto fue ampliamente aceptado y sirvió de base de partida para los nuevos hallazgos en fotosíntesis.

En el verano de 1778, John Ingen-Housz, realizó cerca de 500 experimentos, con los que fue capaz de demostrar que la luz solar era neces-

(2) Tomado de RUSSELL, E. J., *Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas*. Ed. Aguilar. * (1954).

ria para la producción de oxígeno, que solamente las hojas y peciolo podían fotosintetizar y, finalmente, que las frutas y plantas en la oscuridad respiraban como los animales. Por aquel tiempo acababa Lavoisier de refutar la teoría del flogisto; pero su punto de vista no había todavía suplantado la vieja doctrina. Por ello, Ingen-Housz, discute sus resultados en términos de aquella; años más tarde, en el «*Essay on the Nutrition of Plants and the Fruitfulness of the Earth*» (1796), reinterpreta su primer trabajo en línea con la nueva Química.

Las conclusiones de Ingen-Housz, fueron también obtenidas por Senebier en Ginebra. Parece ser que estos experimentos fueron repetidos en España por el químico Antonio Martí (3).

Más para apreciar la naturaleza radical de la revolución en la Química que tuvo lugar en el siglo XIX, basta comparar los trabajos de Ingen-Housz con los de Teodoro de Saussure, publicados en 1804 en su libro «*Recherches Chimiques sur la Vegetation*», es decir, sólo 25 años después. En el intervalo, Lavoisier estableció la naturaleza de la oxidación y la teoría del flogisto había sido desplazada. Lavoisier hubo dilucidado también la composición química del dióxido de carbono, y el agua había sido sintetizada por Cavendish (1784) y descompuesta electrolíticamente (1800) por Nicholson y Carlisle. La distinción entre elementos y compuestos era aún confusa; y todavía faltaban cuatro años para que Dalton formulara su teoría atómica. No es extraño, pues, que la interpretación dada por de Saussure a sus resultados no fuese completamente correcta. Sin embargo, su trabajo puede considerarse como el primer tratamiento cuantitativo de la fotosíntesis, expresado casi en los términos modernos. Pero además, el mérito fundamental de este investigador consiste en haber impulsado el método experimental cuantitativo hasta hacerlo capaz de desarrollar las ideas intuídas entonces, método que ha hecho posible más que cualquier otra cosa la Química Agrícola moderna, pues sirvió de base a los posteriores trabajos de Boussingault, Liebig, Lawes y Gilbert.

De Saussure afrontó los dos problemas estudiados principalmente por Senebier —el efecto del aire sobre las plantas y la naturaleza y origen de las sales que se encuentran en ellas—; sus magníficos experimentos con menta, melocotonero, ciruelo y judías, entre otras plantas, cultivadas al aire o en mezclas de éste y carbónico, les permitieron demostrar los fundamentos de la respiración vegetal y probar, más tarde, la descomposición

(3) VERA, F., *Historia de la ciencia*. Ed. Gili (1937), 506.

del carbónico en presencia de la luz con emisión de oxígeno. Pero su extraordinaria labor no se concretó solamente a estos puntos sino que también hizo aportaciones decisivas respecto de la asimilación del nitrógeno, de la funciones de la raíz, del grado distinto de absorción de las diferentes sales y de la influencia que en la composición de la planta ejerce su edad y la constitución del suelo.

Los trascendentales resultados de de Saussure no fueron aceptados durante muchos años, ni tampoco sus métodos. Así, los libros más difundido entonces, de A. von Thaer y Humphry Davy, no acusaron los cambios fundamentales introducidos por aquél.

«Elements of agricultural chemistry», publicado en 1813 por Davy, constituye el último texto del viejo período y surgió de las lecciones que daba anualmente en The Royal Institution sobre Química Agrícola. Más que aportaciones originales, su mérito estriba en haber sabido sistematizar los hechos conocidos hasta entonces y dar, con su gran personalidad, una importancia a esta Ciencia que de otro modo no hubiese tenido.

El año 1834, marca el punto inicial del desarrollo de la moderna Química Agrícola; hasta ese momento, los experimentos se habían realizado en los laboratorios o en macetas. Fue entonces cuando, J. B. Boussingault comenzó sus célebres experiencias de campo en Alsacia, históricamente las primeras en el desarrollo de la experimentación agrícola; a él pertenece por tanto el honor de haber introducido el método que ha permitido el espléndido desarrollo de esta nueva Ciencia. Actualizó los métodos cuantitativos de de Saussure, controlando los fertilizantes y las cosechas, y demostró concluyentemente cómo el aire y el agua eran fuentes nutritivas del carbono, hidrógeno y oxígeno. Desgraciadamente, la granja de Bechelbronn no perduró como Centro de Investigación, finalizando su actividad después de la guerra de 1870.

Durante este período (1830-40) se realizaron otros trabajos, en especial los de Sprengel sobre los constituyentes de las cenizas de las plantas y los de Schübler a quien se debe el desarrollo de la Física del Suelo; sin embargo, no se produjeron descubrimientos particularmente importantes. Fue en 1840, con la famosa comunicación de Liebig «Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology» a la British Association, publicada en el mismo año, cuando se reactivaron todas las cuestiones importantes que las investigaciones de de Saussure y Boussingault habían puesto de manifiesto. Sus sarcasmos pudieron más que la lógica de estos dos investigadores: acabar con la teoría del humus.



La teoría mineral de Liebig fue trascendental y condujo a aceptar definitivamente criterios puestos en duda hasta entonces. Gracias a él se reconoció que para mantener la fertilidad de un suelo es necesario restituir en forma de abonos los constituyentes minerales y el nitrógeno que le han sido extraídos.

En sucesivas ediciones de su libro, perfeccionó su tesis, dándole una forma cuantitativa; así, en la tercera, aparecida en 1843, establece que «las cosechas disminuyen o aumentan en proporción exacta a la disminución o aumento de las sustancias minerales aportadas con el abono». Y enuncia su célebre ley del mínimo.

En 1843, Lawes y Gilbert, iniciaron los grandes experimentos de campo de Rothamsted, los cuales seguían las mismas líneas generales que los de Boussingault. Afortunadamente en este caso, los trabajos no se han interrumpido hasta la fecha, por lo que bien puede decirse que la extraordinaria información derivada de ellos ha permitido no sólo cimentar la parte positiva de teorías científicas anteriores, sino poner jalones fundamentales en el desarrollo de numerosos aspectos de la actual Química Agrícola.

La considerable investigación realizada a finales del pasado siglo ya hizo ver, que los problemas del suelo y sus relaciones con la planta son mucho más complejos de lo que inicialmente se había supuesto. Los suelos ya no pueden ser clasificados de una manera satisfactoria en función del tamaño de sus partículas, ni tampoco puede limitarse la atención a lo que llamamos capa arable; es necesario tener en cuenta su historia. Pero además, las propiedades de un suelo no dependen sólo de su material originario sino del clima, de la vegetación y de otros factores a los que ha estado sometido. En cuanto al suelo como medio nutritivo del vegetal, el progreso ha sido también importante. Así, en principio, muchos investigadores consideraban la fertilidad del suelo como un problema meramente químico; los bacteriólogos como bacteriológico; y otros, como Davy y Schübler, subrayaban la importancia de las propiedades físicas. Posteriores trabajos introdujeron los métodos y principios de la Química Física, y la Bacteriología fue extendida a toda la Microbiología.

SITUACION ACTUAL DE LA QUIMICA AGRICOLA

El conocimiento de los fenómenos y procesos fisicoquímicos y bioquímicos relacionados con la Agricultura, que en su evolución histórica he-

mos esquematizado brevemente, ha experimentado un impulso considerable en lo que va de siglo conduciendo a conquistas importantes en beneficio de aquélla, especialmente en el aumento de producción, uno de sus principales objetivos.

El mundo se enfrenta con la necesidad acuciante de incrementar los alimentos; el hambre continúa siendo un terrible azote de la Humanidad y todavía se lee que «el 50 por ciento de las muertes prematuras, que suman un total en el mundo de 30 a 40 millones, proceden directa o indirectamente de la subalimentación» (4). Mas el problema no es sólo de producción, sino también de conservación y distribución.

La Agricultura y sus industrias derivadas siguen siendo la fuente máxima de alimentos; de ahí que aun constituya la mayor de las empresas económicas del mundo y que sus productos alcancen más volumen que cualquiera otra actividad humana (5). Por ello, no es sorprendente que los resultados conseguidos por la Química, directamente o influidos por las necesidades demandadas por la propia Agricultura, hayan contribuido poderosamente al aumento en cantidad y calidad de los productos agrícolas.

En el momento actual y por lo que respecta a los suelos, el conocimiento de sus posibilidades agrícolas implica la convergencia de muchas ciencias que en otras épocas caminaban separadamente. Se imponen además métodos diferentes del concepto baconiano, definido principalmente por el estudio separado de los factores que pudieran intervenir en un proceso. Hoy, por el contrario, se precisa más que nunca de la acción coordinada de los recursos que proporcionan diversas ramas de la Ciencia si se quiere penetrar en los complejos procesos de la nutrición vegetal y muy especialmente en sus relaciones con el suelo.

Con la aplicación de estos modernos criterios, y el concurso inestimable de nuevas técnicas, se han conseguido progresos evidentes en la sistemática de suelos y en el diagnóstico de las necesidades nutritivas de las plantas, aparte del esclarecimiento de numerosos procesos químicos relacionados con la producción agrícola.

Es evidente que la búsqueda científica de los primeros tiempos de la Química Agrícola ha generado, a manera de los procesos ondulatorios,

(4) CASARES, R., *Alimentos, Existencia y Vida*. Discurso de ingreso en la Real Academia Nacional de Medicina (1963), 18.

(5) BONNER, J. y GALSTON, A. W. *Principios de Fisiología Vegetal*. Ed. Aguilar¹ (1955), 5.

los extraordinarios descubrimientos de la época presente. Pero tan notable contribución no puede concretarse exclusivamente a los aspectos que podríamos llamar intrínsecos, es decir, al mayor conocimiento de la química del suelo, de las necesidades nutritivas de las plantas, o de los procesos de absorción, asimilación y síntesis que en ellas tienen lugar. El campo de la Química Agrícola es indudablemente más extenso; basta considerar la importancia que en la producción e incluso en la rentabilidad agrícolas ha tenido la aplicación de sustancias obtenidas por el hombre, a menudo extrañas al sistema suelo-planta. Y así, la modificación de las condiciones naturales de los suelos, ha ampliado la superficie agrícola de la tierra; los nuevos productos de acción hormonal, los conservadores y el enorme desarrollo de los procesos de aprovechamiento de los subproductos agrícolas, ha rebasado tan extraordinariamente los límites antiguos, más estrechos, que rara es la actividad de la Química, que directa o indirectamente, no tenga o pueda tener relación con algún problema agrícola.

Sabemos hoy que la sincronización e integración del crecimiento de los diversos órganos vegetales, así como el control de la formación de flores y frutos, se realiza gracias a determinadas sustancias químicas que, al igual que las hormonas animales, pasan de unos órganos a otros, de unos a otros tejidos, provocando o inhibiendo el crecimiento o los cambios de forma. No conocemos muchas de estas sustancias, llamadas por Bonner «mensajeras», ni tampoco está definitivamente establecida su acción compleja en las ya descubiertas. Otro tanto puede decirse de los numerosos sistemas enzimáticos que regulan o catalizan procesos importantísimos del reino vegetal. Es evidente que el progreso en estos aspectos proporcionará nuevos éxitos en Agricultura.

El aprovechamiento de muchos productos vegetales, actividad denominada Quimiurgia por Hale (6), ha cobrado también excepcional interés. Desde los trabajos de Carver con el cacahuet, que condujeron a la obtención por procesos químicos de numerosos compuestos de general aplicación, un largo camino se ha recorrido sembrado de resultados extraordinarios tales como la fabricación de muchas sustancias plásticas, de nuevas aplicaciones de la celulosa y, más recientemente, de la utilización de diversos subproductos para fabricar piensos o producir sustancias químicas de interés en la alimentación humana, en Medicina y en la Industria, como pectinas, flavonoides, colorantes, etc.

(6) SOLER, A., *Los vegetales fuentes de materiales químicos*. Universidad de Murcia (1951).

En resumen y con independencia del avance notable que se ha conseguido en el conocimiento del sistema suelo-planta con ayuda de la Química, —véase sino, por tener dos ejemplos, el esclarecimiento del proceso de la fotosíntesis y el de la estructura, composición y funciones del humus—, podríamos señalar, en un esquema que no intenta ser completo, los aspectos externos que, gracias a la Química moderna, más vienen influyendo en Agricultura.

- 1.—Producción, formulación y aplicación de fertilizantes y plaguicidas.
- 2.—Desarrollo y aplicación de la Enzimología a la Industria Agrícola.
- 3.—Síntesis de fitohormonas y otras sustancias de acción fitoterapéutica.
- 4.—Desarrollo y aplicación de la Radioquímica.
- 5.—Fisicoquímica y Bioquímica de la conservación de productos agrícolas.
- 6.—Nuevas técnicas de análisis.
- 7.—Síntesis y aplicación de productos auxiliares: plásticos, tensoactivos, quelatos, etc.
- 8.—Química de productos y subproductos agrícolas.

Pero el carácter esencialmente dinámico del mundo vegetal, que le lleva en el mayor proceso extractivo que se conoce a tomar muchos millones de toneladas de carbono del aire, transformarlo en tantas y tan variadas formas de materia viva y devolverlo en última instancia a la fuente original, implica numerosos procesos químicos, bastantes descubiertos merced a una ingente labor investigadora, pero otros todavía ignorados. Es en este asunto donde las posibilidades de la Química Agrícola son fascinantes y prometedoras.

La aplicación de los conocimientos de Genética, la lucha química contra las enfermedades y plagas y el empleo racional de los fertilizantes (7), son los métodos quizás más inmediatos para aumentar los alimentos de la Tierra. Mas en esta cuestión, no sólo económica, sino de

(7) BAADE, F., *El problema del hambre en el mundo de ayer, hoy y mañana*. Coloquio Aportación de las Investigaciones Ecológicas y Agrícolas a la lucha del mundo contra el hambre». XXV aniversario del C.S.I.C. (1964).

orden moral, es necesario imaginar nuevos medios que hagan producir más y mejor a las plantas; por eso la intervención de la Química en la mejora inducida de la calidad de los productos agrícolas y en las alzas de rendimientos por encima de lo que podríamos considerar un nivel normal, es tema apasionante de estudio en muchos Centros de Investigación del mundo. Y no cabe la menor duda que también aquí está llamada la Química a jugar un papel trascendental.

PERSPECTIVAS

Hemos visto cuán numerosas son las aplicaciones de la Química a la Agricultura; pero hacen falta muchas más. No parece muy aventurado afirmar que la posibilidad de que en un futuro próximo el mundo soporte su población creciente depende, más que de seguir las tendencias malthusianistas, del desarrollo de la Ciencia Agrícola y de las aplicaciones derivadas de ese desarrollo.

El campo de la Química Agrícola, dice Scharrer (8), abarca en su evolución histórica el estudio de la nutrición de las plantas y de la nutrición animal. Esta última como consecuencia indirecta de que la mayor fuente de alimentos procede de la Agricultura.

Y para Donald E. H. Frear (9) la Química Agrícola, en su sentido más amplio, abarca todos los aspectos de la Química en cuanto se relacionan con el crecimiento y preparación ulterior de las plantas y animales de rendimiento económico.

Hay pues una Química Agrícola que debe estudiar la composición y característica de los productos vegetales; los mecanismos y procesos químicos por los cuales la planta se nutre; el medio en que se desarrollan y del que reciben su alimento; y los complicados procesos de interacción y metabolismo que conducen a las maravillosas síntesis del mundo vegetal. Pero hay, además, otra Química Agrícola destinada a desarrollar todos los medios y sistemas que coadyuven a aquella misión trascendental: los productos que puedan aumentar los rendimientos, las sustancias que

(8) SCHARRER, K., *Química Agrícola*. Ed. Hispano América. Méjico ¹ (1960). Introducción.

(9) FREAR, DONALD, E. H., *Química Agrícola*. Ed. Salvat. ¹ (1956). Prólogo.

combatan o inhiban los enemigos de la planta; los mejoradores de las condiciones de los medios de cultivo; los fenómenos químicos de orden externo que puedan favorecer u obstaculizar el desarrollo vegetativo. Finalmente, si aceptamos que el objetivo principal no es el productivo sino el alimento del hombre y de los animales, es claro que el estudio de los procesos químicos de degradación de los productos agrícolas y consecuentemente el de los medios de conservación e incluso de transformación son o pueden ser objeto de la Química Agrícola.

Por todo lo expuesto, la Química Agrícola no debe concretarse solamente al estudio de los procesos de carácter físico, químico y bioquímico que tienen lugar en la propia planta o en el suelo que la nutre, ni tampoco debe considerarse exclusivamente desde el punto de vista de la síntesis química de nuevos productos, como parecen apuntar las revistas muy especializadas; o con el criterio meramente productivo de Chan- crin: «La Química Agrícola es la Ciencia que aplica el método y los resultados de la Química a la Agricultura al objeto de obtener la mayor cantidad posible de productos agrícolas (particularmente de los productos vegetales útiles) con un beneficio máximo (10). Es todo ello y algo más: en su sentido más general, comprende la Química de todos los procesos y materiales intrínsecamente agrícolas y de los que directa o indirectamente puedan estar relacionados con la Agricultura.

La afirmación de Deherain, «la Química Agrícola no es una ciencia desinteresada, sino que se orienta a la consecución de cultivos remuneradores», tal vez deba completarse, particularizando la afirmación de Hous- say (11), diciendo que la Química Agrícola no es propiamente una Ciencia Aplicada, sino la aplicación de la Química a los problemas de la Agri- cultura.

Si bien la Química Agrícola tiene personalidad propia desde hace poco más de un siglo, su desarrollo vertiginoso ha determinado en todo el mundo una profusión de centros orientados preferentemente a esta Ciencia.

Dejando a un lado lo que ya es Historia, aun en tan breve lapso de tiempo, hemos de examinar someramente las líneas de trabajo modernas que acrecientan a gran ritmo el acervo científico de la Química Agrícola.

(10) CHANCRIN, E. y GUERILLOE, J., *Chimie Agricole*. Librairie Hachette. 10 (1955). Introducción.

(11) HOUSSAY, G., *Recuerdos de un profesor y consideraciones sobre la investigación*. Universidad de Buenos Aires (1939).

La Química del Suelo y muy especialmente cuanto se refiere a la fracción coloidal, es objeto de la atención de muchos equipos investigadores. Los procesos de adsorción e intercambio iónicos, y los de quelación entre otros, se han estudiado en los últimos años con particular intensidad; sus importantes frutos, han servido para modificar o sustituir teorías relativamente recientes.

También en las últimas décadas se ha producido una conmoción extraordinaria en el campo de la nutrición mineral de las plantas. A los diez bioelementos primitivos se han añadido otros cinco y se trabaja activamente en el conocimiento de su bioquímica y en la resolución de los problemas cada vez más complicados que se plantean al considerar sus mutuas relaciones.

Respecto de las sustancias vegetales, la investigación no tiene sólo un carácter meramente analítico, sino que se extiende hasta el conocimiento completo de su constitución y funciones, así como de su influencia en las propiedades de los productos naturales. Prueba de ello es la considerable labor realizada para obtener variedades exentas de compuestos que empeoran la calidad de los elaborados de la Industria Agrícola y las extensas investigaciones sobre el mecanismo de la reacción Maillard, responsable del pardeamiento no enzimático.

Los estudios relacionados con la fijación de fertilizantes en el medio nutritivo y de su absorción por las plantas, han conducido a nuevos productos y formas de aplicación hoy del dominio público. Ejemplos significativos son los quelatos y abonos multinutrientes, y el empleo del amoníaco por inyección directa en el suelo.

La lucha contra las enfermedades y plagas ha exigido un esfuerzo intenso para producir numerosas sustancias de gran eficacia, fruto de hipótesis puramente bioquímicas que han dirigido, por así decir, su síntesis.

Y otro tanto puede hablarse del conocimiento cada día mayor de los fitorreguladores.

Finalmente, el Análisis aplicado a la Química Agrícola, ha sufrido profundas modificaciones tanto conceptuales como en su aplicación, debidas principalmente a la creciente preocupación acerca de la toxicidad de los residuos de productos químicos o de sus metabolitos en los alimentos. El trabajo del analista es de importancia primordial en las investigaciones químico-agrícolas.

Hemos dado una pálida idea de la ingente labor que relacionada con la Química Agrícola se efectúa en todo el mundo. Subrayamos que también en nuestro país se investiga con notable fruto en muchos de los aspectos mencionados.

En definitiva, la Química Agrícola significa la convergencia, la integración de diversos sectores de la Ciencia Química hacia un objetivo común: La Agricultura.

Este panorama tan amplio e importante y, sobre todo, tan claramente relacionado con los intereses nacionales, ha motivado sin duda la decisión acertada de incluir en la actividad científico-docente de la Universidad española a esta Ciencia, que tan directamente contribuye a resolver el problema más antiguo de la Humanidad: su alimentación.