

Química Agrícola. Evolución y concepto

*Prof. Ginés Navarro García
Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología.
Facultad de Química. Universidad de Murcia.*

El término *Agricultura* deriva del latín, formada por *ager, agri* (el campo de cultivo) y *cultura* (actividad de cultivo) se ha identificado durante mucho tiempo como el cultivo del campo, pero no se corresponde en la actualidad exactamente con el término que impulsa a las ciencias agrarias.

La Real Academia Española define a la *Agricultura como el conjunto de técnicas y conocimientos relativos al cultivo de la tierra*, lo que permite obtener del suelo los productos vegetales que el hombre necesita, de la mejor forma posible. Las técnicas son la base de la *Agricultura*, mientras que los conocimientos constituyen lo que se conoce como *Agronomía*.

La *Agronomía* (del latín *agros*: campo y *nomos*: regla) es el *conjunto de conocimientos aplicables al cultivo de la tierra de las ciencias exactas, físicas y económicas*. Tiene como pilares fundamentales a las *Ciencias Biológicas* (Botánica, Genética, Microbiología); a la *Geología y Mineralogía*, que nos aportan información del origen y composición del suelo; y a la *Física y la Química*, que nos permiten conocer el conjunto de procesos que otorgan sus propiedades al suelo.

Al estudiar los diversos factores que han desempeñado papeles importantes en el desarrollo de la *Agricultura*, o mejor de la *Agronomía*, se saca como conclusión que la Química ha ocupado, y sigue ocupando en la actualidad, un lugar preeminente. Su participación en este desarrollo ha sido de tal importancia que de ello ha surgido una rama especial de esta ciencia, la llamada *Química Agrícola*.

Hay que reconocer, sin embargo, que la entidad de esta ciencia, admitida plenamente en el momento actual, se ha forjado a través del tiempo y con las continuas aportaciones de numerosos pensadores y científicos que, a lo largo de muchos siglos, se interesaron por los problemas agrícolas. Por ello, consideramos que para llegar a establecer un concepto suficientemente claro de lo que es la *Química Agrícola* es necesario previamente conocer algo de su evolución histórica. De esta forma se comprenderá mejor cómo ha nacido la *Química Agrícola* y los grandes aportes que está realizando a la Agricultura actual.

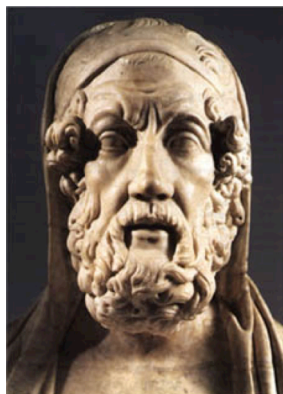
1. Antecedentes históricos

El cultivo de las plantas se remonta aproximadamente varios miles de años antes del nacimiento de Jesucristo. Hasta entonces el hombre se procuraba sus alimentos casi exclusivamente por la caza y era de costumbres nómadas. El Neolítico marca un antes y un después en el desarrollo continuado de la raza humana, ya que la creación de familias, poblados y tribus, hizo que el hombre fuera transformándose de vagabundo en sedentario. En este momento, hace unos 12000 años, las ocupaciones del *Homo sapiens* como la caza, se sustituyeron por otras que resultaban más productivas, como fueron la cría de animales y el cultivo de la tierra, momento que puede decirse que es cuando se inicia verdaderamente lo que, en cierto modo, podríamos llamar *arte agrícola*.

Existen abundantes citas en la literatura antigua que muestran la preocupación del hombre en este sentido. Es generalmente admitido que un área en el mundo que muestra señales evidentes de muy temprana civilización es Mesopotamia, situada entre los ríos Tigris y

Eufrates, en lo que hoy es Irak. Escritos que datan de 2.500 años antes de Jesucristo mencionan la fertilidad de esta tierra. Se señala que se obtenían cosechas de cebada que multiplicaban por 86, e incluso por 300, la cantidad de semilla sembrada.

Más adelante el hombre apreció que ciertos suelos disminuían en su producción cuando eran cultivados continuamente. La práctica de añadir restos de animales y vegetales al suelo para restablecer la fertilidad se desarrolló, probablemente, a partir de estas observaciones, pero se desconoce cuándo se inició realmente la fertilización. Las primeras noticias a este respecto se mencionan en el poema épico *La Odisea*, atribuido al poeta ciego *Homero*, que se dice vivió entre el 900 y el 700 antes de Jesucristo. En dicha obra se cita lo que *Ulises* le dice a su padre *Laertes*:



Homero (900-700 a. C.)

... ¡Oh, anciano! No te falta pericia para cultivar un huerto, pues en éste se halla todo muy bien cuidado y no se ve planta alguna ni higuera, ni vid, ni olivo, ni peral, ni cuadro de legumbres, que no lo esté de igual manera...

Y cita el montón de estiércol, lo cual sugiere una sistemática recolección y almacenamiento del mismo:

... Entonces la deposito con cuidado y la escondo bajo un gran montón de estiércol que había en el aprisco...

Y no solamente reconocían los antiguos el valor del estiércol, sino que también observaron el efecto que tenían los cadáveres en el incremento de la producción vegetal. *Archiloco* (680-645 a.C.) hizo una observación alrededor del año 700 a. de Cristo, y las citas del *Antiguo Testamento* son incluso anteriores. Así mismo, *Escindo* (776 a. C.) estableció ya algunas normas agrícolas.

Hesíodo (siglo VIII a. C.) escribió "*Los trabajos y los días*", verdadero calendario agrícola de las labores del campo.

Hipócrates (460-370 a. C.), autor de la aproximación holística a los problemas, tuvo un alumno anónimo que escribió sobre el suelo:

"...La tierra sería el estómago de las plantas y éstas reciben de ellas el alimento en forma de fácil digestión. La tierra posee una enorme cantidad de fuerzas que nutren a las plantas. La fertilidad o infertilidad de un suelo es función de la presencia, carencia o ausencia de la humedad necesaria para las plantas. Las características del suelo que coordinan su fertilidad varían fácilmente de un lugar a otro..."

Jenofonte (430-355 a. C.) recomendaba los arados en primavera porque:

"...la tierra es entonces más desmenuzable.....la hierba enterrada es suficiente en esta estación para servir de abonado, y no habiendo esparcido semillas no crecerá de nuevo..."



Teofrasto (371-287 a. C.)

También señalaba que :

"...toda clase de suelos sometidos al agua estancada se transforman en abono..."

Teofrasto de Ereso (371-287 a. C.), alumno de Platón y Aristóteles, se prodigó en materias distintas a la filosofía, como la botánica, la geología y la física. Escribió "*De historia plantarum*" (*Historia de las plantas*, en nueve libros) en la que se hace un repaso de más de 450 plantas, clasificadas con arreglo a su forma externa: árboles, arbustos, subarbustos y hierbas; y "*De causis plantarum*" (*Sobre las causas de las plantas*, en seis libros), en cuya obra hace un repaso de las

enfermedades, tanto por organismos como por carencias o toxicidades, tratados que constituyen la más importante contribución a la ciencia botánica de toda la Antigüedad hasta el Renacimiento. Dio al suelo el nombre de *edaphos* para distinguirlo de la tierra en sentido cósmico, y distinguió en él un sustrato superficial de contenido variable en humus, un subsuelo con características de capa grasa que aportaba nutrientes a las raíces de los pastos o hierbas y un sustrato que suministraba jugos nutritivos a las raíces de los árboles. Inició en su época los primeros experimentos de nutrición vegetal, convirtiéndose en uno de los precursores de la botánica. Recomienda el abundante abonado de los suelos poco profundos, pero sugiere que los suelos ricos sean escasamente abonados. También ratifica una práctica considerada buena hoy: el empleo de cama en las cuadras. Indica que esto sirve para conservar la orina, con lo que se incrementa el valor de estiércol.

Es interesante notar que *Teofrasto* afirmó que las plantas con altas necesidades de elementos nutritivos eran también las que necesitaban grandes cantidades de agua. Los huertos y los olivares de Atenas se enriquecían con las aguas residuales de la ciudad. Se empleaba un sistema de canales, y se sabe que existían mecanismos para regular la corriente. Se cree que las aguas residuales eran vendidas a los agricultores. Sus antepasados también fertilizaban sus viñas y arbolados con agua que contenía estiércol disuelto. Reconocía también la importancia del abonado en verde, resultando que en suelos donde se enterraban cosechas de habas se obtenían posteriormente cosechas mucho más abundantes. Y es digno de señalar que este autor mencione el uso del salitre para fertilizar plantas, y el empleo de cloruro sódico en el cultivo de palmeras.

El más antiguo de los naturalistas romanos, el prominente científico *Marco Poncio Catón El Censor* (234-149 a. C.), desarrolló una clasificación de los suelos arables basada en su utilidad para la producción. En su libro "*De Agri Cultura*" (*Sobre la Agricultura*, manual de cómo dirigir una granja) menciona unas 120 plantas, entre ellas el espárrago, del que da instrucciones completas para su cultivo, e indica que en los viñedos pobres debían intercalarse cosechas de *acinum*. No se sabe a qué cultivo se refería, pero no era destinado a la obtención de semilla, sino que se destinaba a ser enterrado. También decía que las mejores leguminosas para enriquecer el suelo eran habas, altramuces y algarrobas.

Pero el que ilustra realmente el primer siglo de nuestra era es *Lucio Junio Moderato Columela* (4-70), autor de "*Liber Arboribus*" (*Libro de los Árboles*, tratado de cultivos arbustivos) y "*De Re Rustica*" (*De los trabajos del campo*, en 12 libros), donde clasifica los suelos en función de su bondad para el desarrollo de las plantas, y los agrupa en seis categorías: grasos y magros, húmedos y secos, y blandos y fuertes. En sus escritos, cuya redacción le llevó varios años, describe métodos para la determinación de las propiedades físicas del suelo para su aprovechamiento agrícola y experiencias para conocer la mayor o menor riqueza productiva de un suelo:



Columela (4-70)

"...abrir una zanja y que la tierra de ella extraída sea devuelta a la misma; si el agujero no se llena completamente, el suelo es pobre; y si algo de tierra queda fuera, el suelo es rico..."

También indicaba:

"...la tierra es la madre común de todas las cosas, porque ella es la productora de todas y está destinada a producir las constantemente..."

Sus ideas en cuanto a las medidas de acidez y alcalinidad de los suelos, su atención a los árboles frutales, y el establecimiento de un calendario agrícola fueron una verdadera anticipación a las prácticas agrícolas puestas en marcha posteriormente. Sus obras constituyen el repertorio más amplio

y documentado de la agricultura romana.

Muchas de los escritores de los primeros tiempos creían que el color del suelo era una

prueba de fertilidad. La idea general era que los suelos negros eran fértiles, y los claros o grises infértiles. *Columela* estaba en desacuerdo con este punto de vista, resaltando la infertilidad de los suelos negros de las tierras pantanosas y la alta fertilidad de los claros de Libia. Sostenía que factores tales como la estructura, textura y acidez eran mucho mejor guía que una estimación de la fertilidad basada en el color del suelo.

La época griega, entre el 800 y el 200 a. C., fue de hecho una Edad de Oro. Muchos hombres de este periodo demostraron un talento que no fue igualado durante muchas centurias. Sus escritos, su cultura, su agricultura, fueron copiados por los romanos, y la filosofía de muchos pensadores griegos de este periodo dominó el pensamiento de los hombres durante más de 2000 años.

A la caída del Imperio Romano, la ciencia de los suelos agrícolas se estancó y fueron muy pocas las contribuciones producidas hasta mediados del siglo XIX, cuando se producen nuevas clasificaciones.

En la Europa cristiana se recopilaron y tradujeron muchos códices y tratados. *San Isidoro de Sevilla* (560-636) escribe "*Etimologías*", monumental enciclopedia que refleja la evolución del conocimiento desde la antigüedad pagana y cristiana hasta el siglo VII. En el "*Volumen XVII: La agricultura*", sintetiza muchos conocimientos de agricultura de la época, y distingue el suelo (como soporte sólido) y el pedión (suelo en sentido rural).



San Isidoro (560-636)

Los bizantinos del siglo IX y los hispano-árabes de los siglos XI y XII, retomaron y complementaron los textos de la antigüedad. En Bizancio, *Cassianus Bassus el Bizantino* (siglo X) escribe "*Geopónica*" en 20 volúmenes, en los que sintetiza y reproduce los conocimientos existentes sobre: "...*los asuntos generales pertenecientes a la agricultura...de las diversas tareas agrícolas adecuadas a cada mes...del cultivo de la vid...de la horticultura...de los animales e insectos perjudiciales para las plantas...*".

Durante el periodo comprendido entre los siglos XI y XIII, también en España se escribió sobre la experiencia agrícola. El principal impulso experimentado por la agricultura de la época se produce en el mundo islámico, pues se introducen medios técnicos y mejoras en las prácticas agrícolas hasta entonces inéditas. Los hispano-árabes aúnan concepciones teóricas del suelo con las descripciones vivas de suelos observadas en la realidad. Los estudios sobre suelo y Agricultura tuvieron en *Al-Andalus* un foco destacado, representado por eruditos tales como *Abu Zacarías Yahía*, *Ibn Haedyhuady*, *Ibn Bassal*, *Abul Khair* y otros. Hay que decir que los musulmanes han dominado mejor que nadie el manejo del agua y el riego, dejando buenas muestras de ello en casas, palacios y campos.

Abu Zacarías Yahía Ibn Mohammed Ibn Ahmed Ibn al Awamí al Ishbilí, más conocido como *Al Awam* (segunda mitad s. XII-mediados s. XIII), agrónomo andalusí de Aljarafe, de la época almohade, escribe el "*Libro de Agricultura de Ibn Al Awam*", dividido en 34 capítulos, en el primero de los cuales recopila el:



Alberto Magno (11206-1280)

"...*conocimiento de las especies de las tierras buenas, medianas e inferiores para plantíos y sementeras por medio de ciertas señales indicantes de estas cosas...*",

Constituye una enciclopedia de todo el saber agrícola y zootécnico de su época, siendo una referencia en materia de agricultura en Europa. *Abul Khair* escribe "*El libro del cultivo*", en el que describe las tradiciones agrícolas de la antigüedad.

Alberto Magno (1206-1280), de origen alemán estudió en

la universidad de Padua, escribió *“De vegetabilibus libri”* en siete libros (1250). Se trata de un ensayo en el que se incluyen problemas de fisiología vegetal. Establece tres principios como pilares de la nutrición de las plantas: *“...La diversidad de alimentos, su paso a la disolución y la necesidad de la descomposición...”*, es decir, el retorno al suelo de los restos vegetales para su descomposición.

Raimundo Lulio (1232-1315), en su *“Ars Magna”*, introduce la idea de que ninguna cosa puede ser engendrada en ausencia de sales.

También hay que hacer referencia a *Gabriel Alonso de Herrera* (1470-1539), autor de *“Agricultura General”*, primer libro de agricultura escrito en castellano y que fue publicado por primera vez en 1513 en Alcalá de Henares. Es un libro eminentemente práctico en el que hace incidencia sobre los productos agrícolas españoles. En esta obra se:



G. Alonso de Herrera (1470-1539)

“...trata de la labranza del campo y sus particularidades, crianza de animales, propiedades de las plantas que en ella se contienen, y virtudes provechosas a la salud humana...”

Se ha planteado que la obra de *Alonso de Herrera* pudiera ser un encargo del *Cardenal Jiménez de Cisneros* para repartirlo entre los labradores del arzobispado de Toledo. Fue reeditado cinco veces más entre los años 1520 y 1539, siempre preparado por el propio autor.

Basada fundamentalmente en la aportación de muchos escritores griegos, es en tiempo de los romanos cuando empieza ya a disponerse de una extensa literatura sobre Agricultura, casi toda ella recopilada y resumida, alrededor del año 1240 por *Pietro de Crescenzi* (1230-1320) en un libro titulado: *“Liber Ruralium Commodorum”* (también conocido como *“Ruralia commoda”*, El libro de los beneficios rurales). El texto, en 12 partes, constituyó una colección de prácticas agrícolas, muy popular en su tiempo, y puede decirse que representó el punto de partida para la publicación de la gran serie de libros aparecidos durante los siglos XVI y XVII. Se le considera el fundador de la moderna agronomía.



P. Crescenzi (1230-1320)

Hasta esta época, y durante muchos años después del trabajo de *Crescenzi*, poco nuevo se aportó realmente al conocimiento de los problemas agrícolas, aunque se publicaron muchos libros sobre temas agrícolas en el siglo XV y principios del XVI. En algunos de ellos se exponen ideas y teorías que posteriormente tuvieron una cierta confirmación.

La ciencia resurge con fuerza en el Renacimiento. Se cuestionan los conocimientos hasta entonces adquiridos, y tan solo se admite aquello que puede ser demostrado por un procedimiento experimental. Así, por ejemplo, *Bernard Palissy* (1510-1590) escribió *“Discours admirables de la nature des eaux et fontaines tant naturelles qu'artificielles, des métaux, des sels & salines, des pierres, des terres, du feu & des emaux ... plus vn traité de la Marné”*, donde manifestaba que en las cenizas de las plantas se encontraban los materiales

que éstas extraían del suelo. Observó el ciclo del agua y la alimentación de los manantiales, y sus trabajos sobre el papel de los sales minerales en la vida vegetal presagian futuros descubrimientos en química. Durante estos años, hay que reconocer que hubo un gran interés por los aspectos prácticos de la Agricultura, pero se careció del espíritu científico necesario para buscar las causas de los fenómenos que describían.

2. El principio de la vegetación

La teoría de la química moderna logró grandes adelantos durante los siglos XVII y XVIII, revolucionando la investigación científica. Cuando las plantas fueron analizadas se determinó que estaban compuestas por elementos derivados del agua, la tierra y el aire.

Ya en el siglo XVII, la preocupación científica por los fenómenos de la fertilidad del suelo y del desarrollo de las plantas es notoria. *F. Bacon* (1577-1644), considera que el alimento básico de las plantas era el agua, y que la principal función del suelo era la de mantener las plantas erguidas y protegerlas del frío y del calor. También, sostenía que el continuo cultivo de una determinada planta sobre un mismo suelo lo empobrecía para esta especie en particular, ya que cada planta extraía del suelo una sustancia concreta para su alimentación y correcto desarrollo.



F. Bacon (1577-1644)

Otro científico de esta época, *J.B. Van Helmont* (1580-1644), físico y químico flamenco, es conocido por sus experimentos sobre el crecimiento de las plantas, que reconocieron la existencia de gases discretos. Identificó los compuestos químicos que hoy llamamos dióxido de carbono y óxido de nitrógeno; fue el primer científico que diferenció entre los conceptos de gas y aire; fue el primero en reconocer la existencia de gases distintos del aire atmosférico; y se dio cuenta de que el dióxido de carbono que se libera al quemar carbón era el mismo producido durante la fermentación del mosto, o jugo de uva. De acuerdo con las ideas de *Bacon* consideró al agua como principal, si no único, constituyente de la materia, para lo que realiza una experiencia que,



J.B. Van Helmont (1580-1644)

según él, demostraba que el agua tenía que ser *el principio de la vegetación*. Puso 90,60 Kg de suelo, desecado en horno, en un recipiente de arcilla, lo humedeció con agua de lluvia y plantó un vástago de sauce que pesaba 2,26 Kg; cubrió la tierra con una hoja de hierro estañada y provista de agujeros para protegerla del polvo, y sólo añadió agua de lluvia. Exactamente al cabo de 5 años terminó su experimento. El árbol en el que se había transformado la rama de sauce pesaba 76,64 Kg. En el suelo, de nuevo secado, encontró como única pérdida de peso la de 56 g sobre los 90,60 Kg originales. Debido a que sólo había añadido agua, sacó como conclusión que ésta era el único alimento de las plantas. La pérdida de los 56 g de peso lo atribuyó a un error experimental. Todo ello lo explicaba así:

"Cogí una maceta, puse en su interior 200 libras de tierra que había secado en un horno, la empapé en agua y planté en ella un vástago de sauce que pesaba 5 libras. Pero la maceta únicamente fue regada con agua de lluvia o (cuando fue necesario) con agua destilada; y era grande (en tamaño) y estaba hundido en la tierra; y para evitar que el polvo del aire de su alrededor se mezclara con la tierra, el borde de la maceta se resguardó, cubriéndose con una lámina de hierro recubierta de estaño y horadada por muchos agujeros. No calculé el peso de las hojas que cayeron en los cuatro otoños. Por último, sequé de nuevo la tierra de la maceta y se encontraron las mismas 200 libras menos unas 2 onzas; por lo tanto, 187 libras de madera, corteza y raíz habían crecido sólo del agua".

En esta experiencia, muy típica de casi toda la primitiva labor de investigación en *Química Agrícola*, no se tuvo en cuenta dos importantísimos factores, deduciéndose de un experimento

bien planteado para las circunstancias de entonces, una conclusión totalmente falsa. *Van Helmont* no tomó en consideración el papel desempeñado por los componentes de la atmósfera, ni tampoco los 56 g de suelo que habían desaparecido. Hay que recordar, sin embargo, que este trabajo se realizó en un tiempo en el que todavía no se sabía nada de la nutrición mineral, ni de la fotosíntesis.



R. Boyle (1627-1691)

El trabajo de *Van Helmont* fue repetido posteriormente por un prestigioso científico, el irlandés *Robert Boyle* (1627-1691), apodado por muchos de sus coetáneos como el padre de la química moderna. En 1645 forma la *Royal Society of London for Improving Natural Know*, en cuyo seno reconoce la necesidad de establecer una clasificación científica de los suelos y definir el valor de sus propiedades para el desarrollo de la agricultura. Como resultado de los análisis químicos efectuados llegó a la conclusión de que las plantas contenían sales, energía, tierra y aceite, y que todos estos productos podían proceder del agua.

Durante este mismo periodo, *J.R. Glauber* (1604-1670), un químico alemán, sostiene la hipótesis de que el *nitro* (nitrato potásico), y no el agua, es el *principio de la vegetación*. Después de obtener la sal a partir de tierra recogida de establos de ganado bovino, dedujo que debía proceder de la orina o de las deyecciones sólidas de los animales; y dado que los animales se alimentaban de plantas, el *nitro* debía proceder originalmente de éstas. Comprobó también que las aplicaciones al suelo producían grandes incrementos en la cosecha. Al relacionar ambos hechos se convenció de que la fertilidad del suelo y el valor del estiércol, dependían totalmente del nitrato potásico. Otro químico inglés de la época, *J. Mayow* (1643-1679), realizó también numerosas experiencias. Los resultados obtenidos ratificaron la idea de *Glauber*.

En Europa, a lo largo del siglo XVIII, había una gran inquietud científica. Francia e Inglaterra centraron sus investigaciones estudiando el suelo con una visión agrícola y química, mientras que los investigadores alemanes se volcaron en estudiar el suelo con bases geológicas para definir e inventariar los suelos.



J. Woodward (1665-1728)

En 1699, *J. Woodward* (1665-1728), profesor y médico de la Universidad de Cambridge, publica un trabajo que supuso ya un gran avance en la experimentación agrícola. Basándose en las experiencias realizadas por *Van Helmont* y *Boyle*, cultivó durante 77 días hierbabuena en agua de distintas procedencias: agua de lluvia, de río, y residual, añadiéndole mantillo de jardín. Comprobó que el crecimiento de las plantas aumentaba al incrementarse las cantidades de impurezas contenidas en el agua y, de ello, dedujo que los vegetales no se forman a partir del agua, sino que lo hacen a partir de los materiales sólidos presentes en el suelo. Aunque su conclusión no fue totalmente correcta, hay que reconocer que representó un gran avance en el esclarecimiento de la nutrición vegetal, pues sin saberlo había desarrollado la primera disolución de nutrientes hidropónica artificial.

Stephen Hales (1677-1761), clérigo inglés y famoso científico británico de su época, estudió la circulación de la savia en la planta y publicó en 1727 su libro "*Statical Essays*" (Ensayos Estadísticos). En el primer volumen de la obra titulado "*Vegetable Staticks*" (Estadísticas Vegetales) describe diversos experimentos relativos a fisiología vegetal. Estudió los estomas y midió la transpiración de las plantas, la presión radicular y descubrió que las plantas absorbían un gas del aire, el que hoy sabemos es el dióxido de carbono. *Hales* llamó la atención científica al afirmar que el aire participa en el

proceso de nutrición de las plantas con un alto nivel de dióxido de carbono, éstas absorben gradualmente el dióxido de carbono y liberan oxígeno.

Merece citarse también, por esta época, al inglés *Jethro Tull* (agrónomo inglés, 1674-1741), inventor de la primera sembradora mecánica de tracción animal, cuya obra “*The new horse hoeing husbandry*”, publicada en Londres en 1731, tuvo una gran difusión. En ella se considera la gran importancia del laboreo para el desmenuzamiento de la tierra y para su aireación, por lo que es considerado el precursor de la llamada *fertilidad física*. Creía, además, que el verdadero alimento de las plantas lo constituían las partículas más finas del suelo, las cuales eran absorbidas directamente por las raíces y después pasaban al sistema circulatorio. Sus ideas, un tanto pintorescas consideradas en el momento actual, fueron, sin embargo, y durante bastantes años, altamente apreciadas en los círculos agrícolas ingleses. Las teorías de *Thull* fueron continuadas en Francia por *Duhamel de Monceau* (1700-1782) en sus obras tituladas: “*Experiences et reflexions relatives au traité de la culture des terres*” (1750) y “*Physique des arbres*” (1758), que se resumen perfectamente en que: ... “*una buena labor vale más que el aporte de estiércol*”.

Thull fue considerado como un pionero en la revolución industrial que se dio en el campo de la agricultura, y fue un miembro destacado de la llamada *fisiocracia*, movimiento filosófico que atribuía la riqueza a la agricultura.

3. El periodo flogístico

Durante la segunda mitad del siglo XVIII se manifestó ya un interés considerable por todos los aspectos de la Agricultura. Se escribieron libros de texto, se incrementaron los trabajos experimentales y se fundaron sociedades para impulsar al máximo su desarrollo. Pero lo que verdaderamente primó durante este tiempo fue la llamada *teoría del flogisto*, impulsada en 1667 por el alquimista alemán *Johann Joachim Becher* (1635-1682) para explicar el proceso químico de la combustión. *Georg Ernst Stahl* (1659-1734) explicó la teoría de *Becher* diciendo que los metales estaban formados por cal y un principio inflamable, el *flogisto*, por lo que la formación de la cal, se podía explicar como un desprendimiento de *flogisto*, el cual se separaba del metal y dejaba la cal libre. La reacción inversa, la reducción de la cal al metal, podía ser también explicada como una adición de *flogisto*. Si una sustancia rica en *flogisto*, se ponía en contacto con una cal metálica, podía transferirle su *flogisto* y dar lugar a la formación del metal.



A. Lavoisier (1743-1794)

La teoría del *flogisto* fue criticada y desmontada por *Antoine Laurent Lavoisier* (químico francés, 1743-1794) en su obra *Réflexions sur le phlogistique, pour servir de suite à la théorie de la combustion et de la calcination*, publicada en 1777, y que fue la base de su famosa ley de conservación de la materia. En sus experiencias, *Lavoisier* estudió el proceso de combustión y demostró que en el mismo lo que se producía era la combinación de una sustancia con el oxígeno. También estudió el papel del oxígeno en la respiración vegetal.



F. Home (1720-1813)

En 1775, la *Edinburgh Society* de Inglaterra encargó a un químico, *Francis Home* (1720-1813), determinar hasta qué punto podría la Química llegar a establecer los fundamentos de la Agricultura. *Home* orientó sus investigaciones hacia la nutrición de las plantas, llegando finalmente a la conclusión de que existían por lo menos seis materias nutritivas para ella: Aire, agua, tierra, sales,

aceite y fuego, en un estado fijo. Su libro *“Principles of Agriculture and Vegetative”* (*Los principios de la Agricultura y la vegetación* (1757) constituyó un gran avance sobre las anteriores publicaciones de esta época, no solamente porque reconoce que la nutrición vegetal depende de varios factores, sino también porque indica muy claramente los dos métodos a seguir para estudiar el problema: Cultivos en tiestos y análisis de la planta.

Las contribuciones de *Home* a la agricultura, reconocidas en todo el continente, le reportaron el nombramiento de *Primer Profesor de Agricultura* de la Universidad de Edimburgo.

El periodo flogístico fue el momento en que *J.G. Wallerius* (químico sueco, 1709-1785), profesor de Química en la Universidad de Uppsala, presentó su libro *De Humo* (1761), primera orientación científica de la *Química Agrícola*. En él se encuentran indicaciones de la formación del humus durante la descomposición del material vegetal y algunas de sus propiedades, como la naturaleza hidrofílica y la capacidad de adsorber nutrientes.

Arthur Young (agricultor, 1741-1820) fue uno de los investigadores de este tiempo digno de ser citado. *Young* fue un magnífico escritor. Publicó, en 1770, *“A course of experimental agriculture”* (Curso de Agricultura Experimental), en el que hizo gran número de pruebas con tiestos para encontrar cuáles eran las sustancias que incrementaban el rendimiento de las cosechas. Cultivó cebada en arena, a la cual añadía materiales diversos: Carbón de leña, aceite, estiércol de ave, residuos vínicos, nitratos, pólvora negra, brea, conchas de ostras y otros muy diversos. Algunos favorecieron el crecimiento de las plantas, otros no. Su tratado titulado *“Annals of Agriculture”* (Anales de Agricultura), en cuarenta y cinco volúmenes, fue muy estimado en los medios agrícolas ingleses.



A. Young (1741-1820)

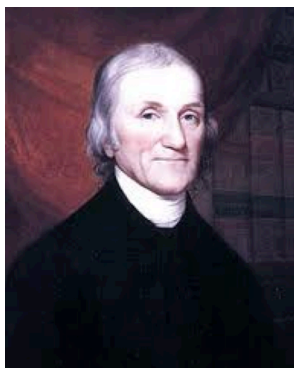
I. I. Komov (1750-1792), investigador ruso, en su libro *“Sobre la Agricultura”*, expone detalladamente la importancia de algunos cultivos, la necesidad de abonar la tierra mala, y deja constancia del papel del estiércol, no sólo como abono, sino también como mantenedor de la humedad del suelo en el mejoramiento de la textura edáfica. También señala la importante función de la cal para incrementar los rendimientos

de los cultivos agrícolas.

4. Desarrollo de la química aplicada a la agricultura

El estudio de esta etapa implica poner el acento en diversos aspectos, principalmente en la irrupción de la química moderna y su aplicación y desarrollo en la nutrición de las plantas.

La *Química Agrícola* se inicia a partir del momento en que la química moderna empieza a aplicarse a la nutrición de las plantas. El planteamiento inicial era que los vegetales necesitan sustancias nutritivas que aseguren su crecimiento, y para ello era necesario saber de donde venían esas sustancias: del aire, del agua o del suelo, para lo que era fundamental conocer la constitución del aire, del agua, del suelo y de los vegetales. Este fue el mayor problema del siglo XVIII, que reside en el hecho por una parte del descubrimiento de los elementos químicos, que era condición necesaria pero no suficiente, y por otra la puesta en evidencia de un sistema general de interpretación de la química, coordinadora de todo ello. Fue necesario esperar a la obra de *A. Lavoisier* (1743-1794) titulada *“Traité élémentaire de chimie”*, publicado en 1789.



J. Priestly (1733-1804)

El descubrimiento del oxígeno (*aire vital*) por *J. Priestly* (1733-1804) puede considerarse como el punto de partida de otros

numerosos avances, junto al del hidrógeno (*aire inflamable*) por *H. Cavendish* (1731-1810) y el dióxido de carbono (*aire fijo*) por *J. Black* (1728-1799). Por otra parte, hizo falta tiempo para demostrar que el agua no era un elemento, sino una combinación a base de oxígeno y de hidrógeno, y que el aire era ante todo una mezcla compuesta de oxígeno y nitrógeno, al que estaba asociada una pequeña cantidad de CO₂ y de vapor de agua.

Los numerosos análisis químicos de los vegetales realizados sobre la base de las ideas de Lavoisier mostraron que las plantas estaban constituidas por un cierto número de elementos químicos, que eran indispensables para su desarrollo; se trataba de: C, O, H, N, P, K, S, Ca y Mg. Establecido esto, había que responder a dos nuevas cuestiones; en primer lugar de donde provienen los elementos necesarios para el desarrollo vegetal, y, en segundo lugar, en qué forma se realizaba la asimilación del elemento por la planta. En realidad, al principio del siglo XVII estos problemas no se planteaban tal cual de forma que, en los diferentes trabajos realizados, los dos aspectos se confundían, lo que contribuyó a retrasar la resolución definitiva de los problemas.

El origen del oxígeno y el hidrógeno en las plantas no se prestó nunca a discusión, estableciéndose que provenían del aire y del agua. Pero no ocurrió lo mismo con el carbono, el nitrógeno y los elementos minerales; y es esto lo que ha contribuido a la multiplicación de teorías relativas a la nutrición carbonada, a la nutrición nitrogenada y a la nutrición mineral.

El origen del carbono que participa en la nutrición carbonada fue objeto de muchas discrepancias. La cuestión era dilucidar si este elemento provenía del aire o bien del suelo por medio del humus originado por la descomposición de los residuos vegetales. Destacan los



J. Ingenhousz (1730-1799)

trabajos realizados por *J. Ingenhousz* (químico y fisiólogo, 1730-1799). Estudiando el oxígeno que producían las plantas descubrió la fotosíntesis en presencia de la luz. En su libro "*Experimentos sobre vegetales: Descubrimiento de su gran poder de purificar el aire común por el Sol y de herir en la sombra en la noche*", publicado en 1779, demostraba que la luz solar era necesaria para la producción de oxígeno; que solamente las hojas y pecíolos podían sintetizar; y, finalmente, que los frutos y las plantas en la oscuridad respiraban como los animales. Estas conclusiones fueron también las obtenidas por *J. Senebier* (1742-1809), clérigo y científico suizo en Ginebra. Sus estudios simultáneos del problema opuesto, efecto del aire sobre la planta, le permitieron sugerir en sus "*Mémoires physico-chimiques sur l'influence de la lumière solaire pour modifier les êtres des trois règnes de la nature*" (Memorias físico-químicas sobre la influencia de la luz solar para modificar los seres de los tres reinos de la naturaleza), publicadas en tres volúmenes de 1782, que el aumento de peso del tallo de sauce en el experimento de *Van Helmont* se debía al aire fijado y comprobó que la cantidad de oxígeno desprendida por las hojas sumergidas era proporcional a la cantidad de dióxido de carbono disuelto en el agua. *Senebier* puso de manifiesto, de forma clara y contundente, que la fotosíntesis se limita a las partes verdes de las plantas, y solo tiene lugar cuando estas están expuestas a la luz solar. Publicó "*Physiologie végétale*" (Fisiología vegetal) en cinco volúmenes, en los que ponía de manifiesto todos sus trabajos sobre la nutrición vegetal.

Para apreciar la naturaleza radical de la revolución de la Química que tuvo lugar en el siglo XIX, basta comparar los trabajos de *Ingenhousz* con los de *Nicolás Teodoro De Saussure* (químico y fisiólogo, 1767-1845), publicados en sus libros: "*De l'influence du Sol sur quelques Parties Constituents des Végétaux*" (Sobre la influencia del suelo sobre algunas partes constituyentes de los vegetales, 1800), "*Recherches Chimiques Sur la Végétation*" (Investigaciones químicas sobre la vegetación, 1804) y "*Sur la Nutrition des Végétaux*" (Sobre la nutrición de los vegetales, 1840) tan solo 25 años después. En su obra, *De Saussure* retoma las ideas de los fisiologistas (*Lavoisier*, *Ingenhousz* y *Senebier*) sobre la utilización del gas

carbónico del aire por las hojas de los vegetales bajo la acción de la luz y afirma, el primero, que todas las plantas contienen fósforo y que este viene del suelo: el efecto del aire sobre las plantas y el origen en ellas de las sales. Como resultado de una amplia experimentación, fue capaz de demostrar que las plantas podían absorber dióxido de carbono y desprender oxígeno en presencia de la luz. Y que si se guardaban las plantas en un lugar sin dióxido de carbono morían.



T. de Saussure (1767-1845)

Pero la extraordinaria labor de *De Saussure* no se concretó sólo a lo anteriormente expuesto. También dedujo que el suelo suministraba sólo una pequeña cantidad de los alimentos que necesitaban las plantas, y aportó, para demostrarlo, los resultados obtenidos con el análisis de sus cenizas. Hizo desaparecer la idea de que las plantas generaban espontáneamente potasa, y concretó aspectos importantes de la asimilación del nitrógeno y de las funciones de la raíz. También demostró que la diferencia en la absorción de sales por las plantas dependía de su edad y de la composición del suelo, y fue el primer investigador que puso de manifiesto que el humus contiene más carbono y menos hidrógeno que los residuos vegetales originarios, hecho que sirvió, en cierto modo, para evidenciar la complejidad del proceso de formación del humus. Aunque la interpretación dada por *De Saussure* a sus resultados no fue

completamente correcta, su trabajo, después comprobado repetidamente por otros investigadores, puede considerarse fundamental para el esclarecimiento del proceso general de la nutrición vegetal. Pero además, el mérito fundamental de este investigador fue el de haber iniciado y desarrollado el método experimental cuantitativo que sirvió de base a los posteriores trabajos de *Boussingault*, *Von Liebig*, *Lawes* y *Gilbert*, y que ha hecho posible, más que cualquier otra cosa, el desarrollo de la *Química Agrícola* moderna.

Los trascendentales resultados de *De Saussure* no fueron aceptados durante muchos años, ni tampoco sus métodos. A pesar de su demostración, la mayoría de los sabios de la época aceptan la teoría de que la fuente de carbono se encontraba en la fracción orgánica de la tierra vegetal, es decir, del humus, teoría avanzada por J.G. *Wallerius*, retomada por J.H. *Hassenfratz* (1755-1827), A. *Von Thaer* (1809) y H. *Davy* (1778-1829). Los libros más difundidos entonces, de *Von Thaer* y *Davy*, no acusaron los cambios fundamentales introducidos por aquel. *Von Thaer*, por ejemplo, publicó "*Grundsätze der rationellen Landwirthschaft*" (*La base de la Agricultura racional, 1809-1812*), en 1837-1839, y en él se mantenía aún la idea entonces predominante de que las plantas extraían su carbono y otros nutrientes del humus del suelo.



H. Davy (1778-1829)

Por iniciativa de A. *Young*, Sir *Humphry Davy* impartió en 1803, en *The Royal Institution* un curso sobre Química Agrícola. Tal fue el éxito del curso que Davy continuó impartiendo durante diez años más, hasta 1813. El resultado de aquella experiencia fue el libro titulado "*Elements of Agricultural Chemistry*" (*Elementos de Química Agrícola*), considerado como el primer intento serio de aplicar la química a la agricultura, y constituye el último texto del viejo periodo. Más que aportaciones originales, su mérito estriba en haber sabido sistematizar los hechos conocidos hasta entonces y dar, con gran personalidad, una importancia a la *Química Agrícola* que de otro modo no hubiera tenido. *Davy* fue el primero en emplear el término *química agrícola*, y abrió el camino a las *granjas científicas*, que utilizaban fertilizantes

equilibrados químicamente). Se le considera el primer catálogo de métodos químicos modernos de los materiales agrícolas, entre ellos el suelo. Sir *Humphrey Davy*, por su parte, considera el suelo como el resultado de dos procesos superpuestos: "*la alteración de las rocas y la*

descomposición de la materia orgánica". El libro de Davy fue muy bien recibido y se convirtió en manual de referencia de Química Agrícola para toda una generación, hasta que fue desplazado por los trabajos de *Justus von Liebig*.

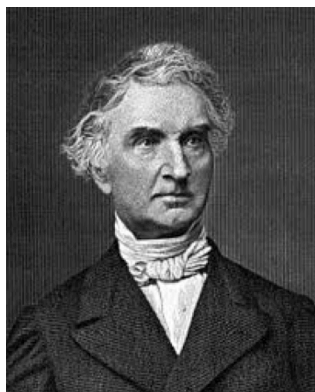
El origen del nitrógeno participante en la nutrición nitrogenada también fue objeto de numerosas controversias: el nitrógeno provenía del aire o del suelo?. Conociendo la composición de la atmósfera, era tentador hacer venir a este elemento del aire. Incluso *Liebig* se apuntó, posteriormente, durante mucho tiempo a esta idea. Sin embargo, *De Saussure* había demostrado en 1804, apoyándose en minuciosas experiencias, que no era así, y que el nitrógeno provenía en realidad de los constituyentes orgánicos del suelo. Posteriormente se demostraría que en el caso de las leguminosas, el nitrógeno atmosférico participa directamente en la nutrición vegetal.



F. Wiegman (1771-1853)

Si creemos a los numerosos investigadores de la ciencia del suelo, la importancia de los elementos minerales parece ya haber sido manifestada hace tres siglos por *Palissy* en su *teoría de las sales*, si bien fue posteriormente olvidada. Recordemos que *Dumas* y *Boussingault* en su magistral estudio "*Essai de statique des êtres organiques*" no había prestado atención más que a los elementos orgánicos C, H, O y N, y no a los nutrientes minerales.

En el periodo comprendido entre 1830 y 1840 no se registran descubrimientos de importancia. El primer tratado sobre *ciencia del suelo* aparece en 1837, bajo la firma de *P. K. Sprengel* (1787-1859) y *A. F. Wiegman* (1771-1853), fisiólogos vegetales de origen alemán, que profundizaron las investigaciones de *De Saussure* sobre la *ley del mínimo*, comprobando que aunque un suelo tuviese todos los minerales necesarios para el desarrollo de las plantas podía ser improductivo, si faltaba un solo elemento esencial o si éste se encontraba en muy baja cantidad. *Sprengel* se convirtió en instructor de agricultura y Química Agrícola en Gotingen y dio cursos en análisis de suelos, fertilizantes y cultivos. Los primeros experimentos de *Sprengel* se centraron en la teoría del humus y el único papel de la materia orgánica del suelo como fuente de nutrientes para las plantas. Determinó los componentes solubles en agua en extractos de humus de suelos y halló sales de nitratos, sulfatos, cloruros y fosfatos alcalinos, llegando a la conclusión de que las sales solubles eran nutrientes vegetales y, por lo tanto, refutaban la teoría del humus. *Sprengel* también investigó compuestos inorgánicos que se encuentran en las zonas radiculares de los suelos. Consideraba los 15 elementos como importantes. Estos incluyen O, C, H, N, S, P, Cl, K, Na, Ca, Mg, Al, Si, Fe y Mo. Sobre la base de estos hallazgos, desarrolló la *Ley del mínimo* que declaró que si solo falta uno de los elementos necesarios para el crecimiento de la planta, la planta sufrirá, a pesar del hecho de que todos los demás elementos esenciales están presentes en cantidad suficiente. *Sprengel* también señaló que elementos como As, Pb y Se podrían ser perjudiciales para las plantas. Dijo: "*Cuando una planta necesita 12 sustancias para desarrollar, no crecerá si falta alguno de estos*".



J. von Liebig (1803-1873)

En 1837, la *British Association for the Advancement of Science* encarga una obra sobre las relaciones de la química y la agricultura a *Justus Von Liebig* (1803-1873), químico alemán y profesor de la Universidad de Giessen, quien en 1840 presentó su teoría mineral de la nutrición vegetal en una comunicación titulada "*La química en sus relaciones con la Agricultura y el crecimiento de las plantas*", y posteriormente desarrollada en su obra "*Die Organische Chemie in ihrer anwendung auf Agricultur und Physiologie*" (*La Química Orgánica y sus aplicaciones a la Agricultura y la Fisiología*). Esta obra, considerada como el punto de partida de la Química

Agrícola, conmovió tan fuertemente a los científicos conservadores de aquel tiempo que a partir de entonces fueron muy pocos los que siguieron afirmando que el carbono contenido en las plantas provenía de otra fuente que no fuera el dióxido de carbono. En su obra sugiere que:

“...las plantas se alimentan exclusivamente de materia inorgánica procedente, bien de la descomposición del humus o de la atmósfera, bien de las sustancias minerales que hay en la tierra...”,

La teoría es la de la nutrición mineral de las plantas: estas absorben por las raíces y por sus hojas los elementos químicos en forma de combinaciones simples (gas o sales de ácidos minerales). Los compuestos orgánicos del suelo, principalmente el humus, no son más que reservas que proporcionan los elementos minerales después de su degradación y descomposición. O dicho de otro modo, que las plantas transforman compuestos no orgánicos, provenientes del suelo y de la atmósfera, en materias orgánicas, y consiguió resultados satisfactorios con abonos artificiales.

Sus principales afirmaciones en dicha comunicación fueron:

- La mayor parte del carbono de las plantas procede del dióxido de carbono de la atmósfera.
- El hidrógeno y el oxígeno provienen del agua.
- Los metales alcalinos son necesarios para la neutralización de los ácidos formados en las plantas como resultado de sus actividades metabólicas.
- El fósforo es necesario para las plantas, y bajo la forma de fosfato insoluble puede solubilizarse más o menos por tratamiento con un ácido mineral.
- Las plantas absorben sin discriminación los materiales del suelo, pero eliminan por sus raíces aquellos que no les son necesarios.

Indudablemente, no todas las ideas de *Von Liebig* eran correctas. Creía que el ácido acético era eliminado por las raíces, y que el hecho de que una determinada sustancia estuviera presente en las cenizas de la planta era prueba suficiente de su esencialidad. También sostenía que la única forma de nitrógeno que podían absorber las plantas era la amónica, a partir del suelo, del estiércol o del aire.

Liebig considera al suelo como el lugar de donde las plantas toman los nutrientes necesarios y que el suelo reemplaza con el tiempo. Su agotamiento producía infertilidad, por lo que el agricultor debía preocuparse de su restitución. Consiguió resultados satisfactorios con abonos artificiales, lo que dio inicio a la fertilización química moderna.

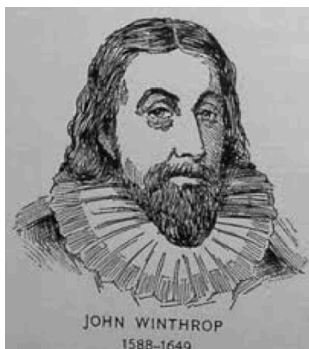
La teoría de la nutrición mineral de *Liebig* se acompaña de dos leyes: la ley de restitución y la ley del mínimo, inicialmente expuesta por *Sprengel*. Con ellas afirmaba que el crecimiento de las plantas era proporcional a la cantidad de sustancias minerales asimilables contenidas en el fertilizante. Confirmó la *Ley del Mínimo*, ya que dijo que: *“...Un elemento que falte, o que se halle en una cantidad insuficiente, impide a los restantes producir su efecto normal o por lo menos disminuye su acción nutritiva...”*, es decir, que el crecimiento de las plantas está limitado por el elemento nutritivo presente en más pequeña cantidad, si todos los otros lo estaban en cantidades adecuadas. Estos conceptos dominaron los pensamientos de los investigadores agrícolas durante largo tiempo. Estas dos leyes, confirmadas por todas las experiencias posteriores siguen siendo, hoy día, dos leyes fundamentales de la agronomía.

La contribución de *Liebig* al avance de la Agricultura fue enorme, no sólo por sus aciertos, sino también por sus errores, ya que estimularon posteriores investigaciones para comprobar o rebatir sus ideas. Por ello, es quizá muy justamente reconocido como el padre de la Química Agrícola. La gran importancia que *Von Liebig* concedía a la investigación agrícola y el relevante papel que en ella debe desempeñar la Química, puede deducirse del siguiente párrafo:

"Una agricultura perfecta es la verdadera base del comercio y de la industria. Es la base de la riqueza de los estados, pero el sistema racional de la Agricultura no puede formarse sin la aplicación de principios científicos, ya que dicho sistema debe basarse en un exacto conocimiento de las necesidades nutritivas de los vegetales y de la influencia del

suelo y acción que éste ejerce sobre el estiércol. Estos conocimientos deben basarse en la Química, que enseña la manera de investigar la composición y el carácter de las distintas sustancias que sirven de alimento a las plantas."

Aunque la mayoría de los avances hechos en la *Química Agrícola* durante el siglo XVIII tuvieron lugar en Europa, alguna contribución americana de los primeros tiempos fue suficientemente significativa para ser mencionada.



J. Winthrop (/1588-1649)

Posiblemente, la primera publicación americana relacionando la Química con la Agricultura fue la de *John Winthrop* (1588-1649), primer gobernador de Massachusetts, en 1629, con el título "*Descripción, cultivo y utilización del maíz*".

En 1688, *J. Clayton* (1657-1725) ponía en evidencia ciertas propiedades químicas del tabaco. Y también merece citarse uno de los primeros químicos que ejerció una verdadera influencia en la agricultura americana, *Samuel L. Mitchell* (1764-1831), profesor de Química y Agricultura en el *Columbia College*, desde 1792 a 1801, y uno de los fundadores en New York de la Sociedad para el Progreso de la Agricultura, Manufacturas y Artes Prácticas.

En 1832, *Edmund Ruffin* (1794-1865), agrónomo americano, inspirado en el libro de *Davy*, analiza el contenido de carbonato de sus suelos y pone de manifiesto la importancia del encalado en su trabajo titulado "*An essay on calcareous manures*" (Ensayo sobre los abonos calcáreos, 1832).

A partir de 1834 se despertó un nuevo interés por la investigación agrícola. Hasta ese



J. B. Boussingault (1802-1887)

momento, la experimentación se había realizado sólo en los laboratorios o en macetas. Fue entonces cuando el francés *J.B. Boussingault* (1802-1887), científico francés dedicado al estudio de la *Química Agrícola* y conocido como el fundador de la agricultura como ciencia, publicó sus libros "*Agronomie, chimie agricole et physiologie*" (Agronomía, química agrícola y fisiología) y "*Economie rurale dans ses rapports avec la Chimie, la Physique et la Meteorologie*" (La economía rural y sus relaciones con la Química, la Física y la Meteorología, 1843). Comenzó sus célebres experiencias de campo en su granja de Alsacia, históricamente considerada como la primera estación de experimentación agrícola conocida. *Boussingault* actualizó los métodos cuantitativos de *De Saussure*, pesó y analizó los fertilizantes utilizados y las cosechas obtenidas, y demostró concluyentemente cómo el aire y el agua eran fuentes nutritivas del carbono, hidrógeno y

oxígeno. Comprobó que las plantas necesitan nitrógeno, indicando que "*...las plantas superiores no pueden utilizar el nitrógeno atmosférico sino únicamente los nitratos del suelo...*", y otros elementos minerales que extraen de la tierra; identificó los elementos minerales y las proporciones que de cada elemento necesitan las plantas para su crecimiento, dividiéndolos en asimilables y no asimilables; y publicó numerosas tablas sobre la composición de las cosechas y calculó la cantidad de varios elementos extraídos por hectárea. Obtuvo, además, la primera evidencia sobre la fijación de nitrógeno por parte de las leguminosas.

El término de *ciencia del suelo* había sido empleado algunos años antes por el ingeniero alemán, *Hundeshagen*, en 1813. Este libro es la primera manifestación literaria de la existencia de una ciencia especialmente consagrada al estudio del suelo y su productividad. Poco después, *A. de Gasparin* (1783-1862) publica en 1843 su "*Course d'Agriculture*" (Curso de Agricultura) en cinco volúmenes, de los que el primero, titulado *Agrología*, está centrado en la

química del suelo; y “*Traité de la détermination des terres arables*” (Tratado de la determinación de los suelos arables, 1872). Dichas obras, basadas en los conocimientos de *Boussingault*, fueron durante muchos años las dos guías científicas más consultadas por los agricultores en Europa.

Es por tanto, a partir de 1840, cuando empieza realmente el desarrollo de la Química Agrícola. Hacia 1842 se publicó la primera lista que incluía nueve elementos considerados esenciales para el crecimiento de las plantas.

En Francia, el primer tratado se debe al químico *J.B. Dumas* (químico y catedrático, 1800-1884), que en su libro “*Essai sur la statique chimique des êtres organisés*” (Ensayo sobre la estática química de los seres organizados, 1841), describe una notable síntesis de la formación de la materia orgánica en los vegetales, aunque se limita al carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. Para este científico, los elementos de las cenizas son simples impurezas que penetran por las raíces y llegan a evaporarse a nivel de las hojas. Acepta, con mucha reticencia, la teoría mineral de la alimentación de las plantas.

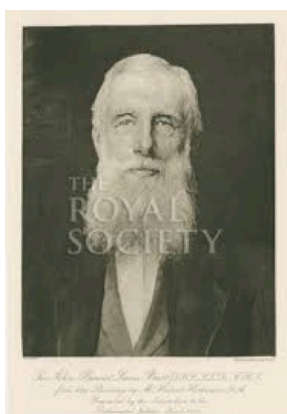


Estación Experimental Rothamsted

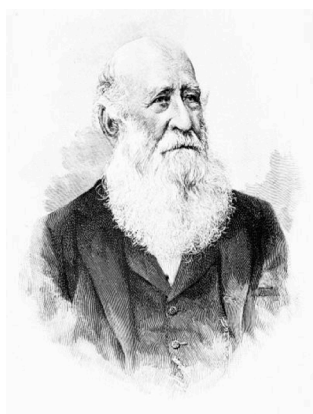
Las ideas de *Liebig* fueron inmediatamente adoptada por el gran agrónomo, y rico propietario británico, Sir *John Bennet Lawes* (1814-1900), quien comienza en 1837 las experiencias sobre los abonos en su propiedad de *Rothamsted*, cerca de Londres. Con su compañero y amigo químico Sir *Joseph Henry Gilbert* (1810-1901) la transforma en 1843 en un centro de investigación excepcional que dona a su país a su muerte. Se crea así la *Estación Experimental de Agricultura de Rothamsted*. Después

de 150 años, *Rothamsted* sigue siendo la capital de la *Ciencia del Suelo* en Gran Bretaña.

Los fundadores de Rothamsted, *J.B. Lawes* y *J.H. Gilbert*, iniciaron una amplia investigación para comprobar algunas de las afirmaciones de *Von Liebig* que no consideraron correctas. Doce años después de la fundación de la Estación, establecieron los siguientes principios:



B. Lawes (1814-1900)



J. H. Gilbert (1810-1901)

1º) Los cultivos requieren fósforo y potasio, pero la composición de los residuos de las plantas no es una medida de las cantidades requeridas de dichos elementos.

2º) Las plantas no leguminosas precisan un suplemento de nitrógeno, siendo igual de beneficiosos los nitratos y las sales amónicas. Sin este elemento, no se puede conseguir ningún aumento del crecimiento, aún cuando se añadan los constituyentes de las cenizas. La cantidad de nitrógeno amoniacal suministrado por la atmósfera es insuficiente para las necesidades de los cultivos.

3º) La fertilidad del suelo puede ser mantenida durante algunos años con el empleo de los fertilizantes químicos.

4º) El efecto beneficioso de los barbechos se debe al aumento de la cantidad de compuestos de nitrógeno utilizables en el suelo.

La colaboración entre *Lawes* y *Gilbert* fue una de las más completas entre hombres de

ciencia. Trabajaron juntos por espacio de 57 años, hasta la muerte del primero en 1900. *Gilbert* murió un año más tarde. La investigación realizada por ellos y sus discípulos no se ha interrumpido desde entonces, permitiendo con ello no sólo cimentar la parte positiva de teorías científicas anteriores, sino también poner jalones fundamentales en el desarrollo de numerosos aspectos de la moderna *Química Agrícola*. Después de más de 150 años, *Rothamsted* sigue siendo la capital de la química del suelo en Gran Bretaña.

El efecto de los abonos de granja no era fiable en aquellos momentos de la ciencia, y los suelos ricos en humus eran fértiles, por lo que el papel de éste debía ser precisado. *G.J. Mulder* (químico, 1802-1880) cree poder definir una serie de compuestos: ulmina, humina, ácido úlmico, húmico, crénico y apocrénico. *E. Mitscherlich* (1794-1863) publica "Lehrbuch der Chemie" (Elementos de Química, 1835) y mejora los métodos de análisis, y señala ciertas funciones del humus, principalmente el de proporcionar nitrógeno, hecho discutido por *Von Liebig* y *Boussingault*. En 1875, *J.J.T. Schloesing* (1824-1919) demostró el papel de la materia orgánica en los suelos y sus efectos sobre la estructura.

La capacidad de cambio del suelo había sido señalada por *G. Gazzari* (1771-1847) en 1816. En 1845 se inician por *H.S. Thompson* y *J. Spence*, los primeros estudios serios sobre el poder adsorbente del suelo. En 1848, un granjero británico, el agrónomo *H.S. Thompson*, observa la transformación de sulfato de amonio en sulfato cálcico en el suelo, y en una comunicación a la Royal Agricultural Society menciona una interesante propiedad del suelo: "el poder de retener amonio". Sus resultados, fueron comunicados a *J.T. Way*, químico de la *Royal Agricultural Society*, que los repitió y amplió, publicando en 1850 el trabajo "On the power of soils to absorb manure" (*El poder del suelo para absorber estiércol*), y permitieron a éste, en 1852, después de una mayor investigación, establecer los principios básicos del intercambio iónico en los suelos. En dicha publicación ponía de manifiesto:

- Que los cationes añadidos se intercambiaban con el calcio retenido en el suelo.
- Que otros compuestos como ácidos y sales no se intercambiaban.
- Que la arcilla era el material responsable.
- Que era un proceso irreversible.
- Que el proceso era muy rápido y se destruía por el calor.

Estos estudios sobre el cambio de cationes en el suelo supusieron el inicio de la química del suelo. Hasta el siglo XX, los estudios sobre capacidad de intercambio catiónico fueron una extensión de los trabajos y teorías de *Way*, corrigiéndolas y completándolas. Varias de sus conclusiones siguen siendo válidas actualmente.

En 1856, *Salm-Horstmar* (1836-1860) cultivó plantas en frascos de estaño revestidos de cera conteniendo arena, cuarzo pulverizado y carbón de azúcar. Estos materiales habían sido previamente hervidos con ácidos para separar las pequeñas cantidades de materia mineral.



Salm- Hortsmar (1836-1860)

Omitiendo la adición de uno o más elementos en la disolución nutritiva sacó como consecuencia que el fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio y silicio eran elementos que debían considerarse esenciales para el crecimiento de las plantas.

También por esa época, *J. von Sachs* (1832-1897), profesor de Botánica en la Universidad de Wurzburg, y *J.A.L.W. Knop* (1817-1891), químico agrícola conocido como el *padre de la cultura del agua*, redescubriendo el uso de las disoluciones nutritivas, publicaron la primera fórmula estándar para una solución de nutrientes que podría disolverse en agua y en la que podrían crecer las plantas con éxito. Esto marcó el fin de la larga búsqueda del origen de los nutrientes esenciales para las plantas, dando origen a la *nutricultura*. Ponen de manifiesto la esencialidad del potasio, calcio, magnesio, hierro, azufre, fósforo y nitrógeno para las plantas, junto al carbono,

hidrógeno y oxígeno que eran proporcionados por el aire y el agua (respiración y fotosíntesis). En este tiempo, se generalizó la opinión de que el hierro formaba parte de la clorofila, al estimar que en el caso de las plantas existía, como en los animales, una relación hierro-pigmento.



萨克斯, J. von

J. von Sachs (1832-1897)

En 1879, el francés *Georges Ville* (químico y agrónomo, 1824-1897), en su libro "*On Artificial manures, their chemical selection and scientific application to Agriculture*" (Fertilizantes artificiales, su química, selección y aplicación científica a la Agricultura), llega incluso más lejos que *Lawes* y *Gilbert*, sosteniendo que los abonos artificiales eran más remuneradores que el estiércol; e incluso, contenían el único medio para mantener o incrementar la fertilidad. Y llegó a establecer el carácter selectivo que para algunos nutrientes presentan las especies vegetales, concepto que hoy se ha generalizado con numerosas confirmaciones experimentales.

Otra cuestión, objeto en este tiempo de numerosas discusiones, fue la fuente de nitrógeno para las plantas. Diversos investigadores habían observado la extraña conducta de las leguminosas. Algunas veces crecían bien en los suelos en los que no se había añadido nitrógeno, mientras que en otros no se obtenía ningún crecimiento. Por otro lado, las plantas no leguminosas nunca se desarrollaban bien con

insuficientes cantidades de nitrógeno en el suelo.

Esta problemática fue, ya avanzada la segunda mitad del siglo XIX, el inicio del desarrollo de la Microbiología del Suelo, que había de conducir a resultados de gran importancia en la estructuración definitiva de la *Química Agrícola*. En 1878, la investigación realizada por los grandes bacteriólogos alemanes *Theodore Schloessing* (1824-1919) y *Alfred Mütz* (1846-1917) pone de manifiesto la acción bacteriana en el proceso de la *nitrificación*, y en 1882 de la *desnitrificación* en el suelo. Junto a ello, aparecen nuevas ideas sobre la naturaleza y origen de las sustancias húmicas y su papel en el suelo. *C. Sprengel* (1837), *K. Tarkhof* (1881), *P.E. Muller* (1887), *J. Van Bemmelen* (1888) y otros, establecen hechos importantes en este sentido.

En cuanto al aparente misterio de la absorción de nitrógeno atmosférico por las leguminosas, la brillante experimentación realizada por *H. Hellrieger* y *H. Wilfarth*, en 1886, demostró con absoluta claridad que aquella estaba condicionada por un factor independiente del suelo y de la planta; y supusieron, acertadamente, que las bacterias contenidas en los nódulos de las raíces asimilaban el nitrógeno, que era aportado posteriormente a la planta. Se debe a *M.W. Beijerinck* (1851-1931) el aislamiento del microorganismo, denominado entonces *Bacillus radícola*, y que en la actualidad se conoce como *Rhizobium*.

Paralelamente al desarrollo de la Microbiología del Suelo y nutrición de las plantas, comienza en esta época el empleo de los fertilizantes minerales. La agricultura británica era ya sensible al empleo de abonos. El primer barco aportando guano de Perú llega a Liverpool en 1835; en 1841 se importan 1700 Tm y 220000 en 1847. *Lawes* había obtenido magníficos resultados en Rothamsted y, en 1842, patentó un sistema de fabricación de superfosfatos y montó una fábrica en las afueras de Londres. En 1865 se inicia en Strassfurt (Alemania), la extracción de sales potásicas. Las escorias Thomas procedentes de la industria del acero empiezan a ser utilizadas en Inglaterra en 1879, siendo en 1890 cuando se introduce en la práctica agrícola alemana el primer fertilizante nitrogenado artificial: Sulfato amónico.

La fertilización mineral surgió en Europa Central con Alemania como centro de desarrollo, debido a tres condiciones esenciales: La necesidad de resolver el problema alimentario de una población cada vez más numerosa, la existencia de una buena base teórica como resultado del avance científico, y la iniciativa de numerosos químicos agrícolas y agricultores que estaban dispuestos a conseguir la resolución del problema.

El gran esfuerzo de la *Química Agrícola* en el campo de los fertilizantes se hace patente en la referencia de *F. Haber* (1868-1934) de su obra *La era de la Química y sus logros* (1925):



F. Haber (1868-1934)

Desde hace más de medio siglo, la potasa de los yacimientos de Strassfurt, el ácido fosfórico de las escorias Thomas y de los yacimientos de fosfatos del Océano Pacífico, del Norte de África y del Sur de los EE.UU. de América, el nitrógeno de los desiertos de Chile y de las coquerías, han afluido a los campos y praderas como un río de riquezas y bendiciones."

Entre 1860 y 1870, también comienzan en Rusia las investigaciones científicas sistemáticas en la esfera de la nutrición de las plantas y la aplicación de los fertilizantes. El Profesor *A.N. Engelgardt* (1832-1893), autor de *Bases químicas de la Agricultura*, fue un ardiente propagandista de la aplicación del fertilizante. Realizó gran número de trabajos relacionados con la aplicación conjunta de abonos orgánicos y fertilizantes minerales y del encalado del suelo. *D.I. Mendeleiev* (1834-1907)

fundó estaciones experimentales en las provincias de Moscú, Smolensky y Simbirsk, para el estudio de la acción de los fertilizantes. En 1884 apareció el libro de *P.A. Kostichev*, uno de los fundadores de la agronomía rusa, titulado *Estudio sobre el fertilizante*. En él señala que la fertilidad del suelo depende no solamente de la cantidad de sustancias nutritivas presentes, sino también de la estructura edáfica y otras propiedades físicas.

En el conjunto de esta aportación rusa hay que nombrar asimismo al Profesor *G.G. Gustavson* (1842-1901). En su libro *Veinte conferencias de Agroquímica*, expuso con gran brillantez muchos problemas de la Química del Suelo y Fertilizantes, y del análisis del suelo, fertilizantes y alimentos.

También en este siglo merecen citarse notables aportaciones a la *Química Agrícola* por parte de científicos americanos. Ya en 1806, *Thomas Ewell*, de Virginia, publicó un importante tratado en el que se expone la íntima relación existente entre la Agricultura y la Química.



D. I. Mendeleiev (1834-1907)

En 1810, *Gerard Troost* (1776-1850), médico holandés emigrado a Estados Unidos, realiza los primeros estudios sobre la composición de los suelos de Pensilvania; y *Edmund Ruffin* (1794-1865), en 1821, publicó *Ensayo sobre los abonos calcáreos*, que, considerablemente ampliado, apareció en forma de libro en 1852.

Entre 1840 y 1850 se observa un considerable aumento en las actividades científicas relacionadas con los problemas agrícolas. Se realizan estudios químicos de los suelos, de las cosechas, de los alimentos y de los fertilizantes; y surgen gran número de publicaciones. En este periodo, *Samuel Luther Dana* (1795-1868) publica *Manual de estiércol*; *Samuel W. Jonson* (1830-1909), profesor de *Química Agrícola* en Yale en 1875, destaca por sus libros titulados *Cómo se nutren las plantas* y *Cómo crecen las cosechas*;

Evan Pugh (1828-1864), colaborador de *Lawes* y *Gilbert* durante dos años en Rothamsted, publica la obra *El origen del nitrógeno en la vegetación*; y *J.W. Draper* (1811-1882), que fue el primer presidente de la American Chemical Society en 1876, presenta su *Tratado de las fuerzas que originan la organización de las plantas*.

La importante contribución de la Química al desarrollo de la Agricultura en América fue puesta claramente de manifiesto por *Harvey W. Wiley* (1844-1930), en 1901, en un discurso a la *American Chemical Society*. En una parte del mismo decía:

"De cuarenta y nueve directores actuales de granjas experimentales, veinte eran químicos profesionales cuando recibieron el nombramiento. La selección de tantos químicos profesionales no fue una casualidad, sino que tuvo evidentemente alguna relación con el papel preponderante que la Ciencia Química desempeña en el progreso de la investigación agrícola. La lista de los directores de las granjas agrícolas experimentales de Alemania indica el mismo estado de cosas."

5. Avances en el siglo XX

Los avances producidos en el siglo XX en todo lo relativo al suelo y su conocimiento es imposible referirlos en unos párrafos. El continuo avance de la metodología analítica hizo que muchos conocimientos que se tenían hasta ese momento se completaran o se corrigieran, permitiendo llegar al concepto que hoy se tiene del suelo y su funcionamiento.

A título de ejemplo, podemos citar los trabajos sobre intercambio catiónico de: *Truog* (1917), *Bradfield* (1925), *Kelley-Brown* (1927), *Gedroiz* (1922), *Hissink* (1924) y *Wiegner* (1931), y su cinética química: de *Vanselow* (1932) y *Gapon* (1933).

Se estudiaron los materiales responsables del intercambio catiónico, destacando los trabajos de: *Wiegner* (1912), *Gedroits* (1912-1925), *Mattson* (1929) y *McGeorge* (1931).

En relación a la reacción del suelo, *Sorensen* (1909), *Troug* (1916) y *Bradfield* (1923) proponen diferentes métodos de determinación de la acidez. Emergen dos teorías en relación con el origen de la acidez, la del aluminio defendida por *Veitch* (1904), *Daikuhara* (1914) y *Kappen* (1916), y la del hidrógeno de cambio sustentada en los trabajos de *Van der Speck* (1922) y *Bradfield* (1923), ésta última la teoría dominante hasta los años cuarenta, hasta que *Paver-Marshall* (1934), *Chernov* (1947) y *Scofield* (1947), renuevan la teoría del aluminio como responsable de la acidez, que vuelve a dominar.

Los estudios sobre la disolución del suelo y su papel en la fertilidad del suelo también tuvieron interés. Así, *Cameron* y el *USDA* (1911) critican a la disolución del suelo como medida de la fertilidad. Destacan los trabajos de *Morgan* (1916) y *Burgess* (1922), que completan estudios sobre la disolución utilizando extractantes, lisímetros, desplazamientos en columna, centrifugación, etc.

Los estudios acerca de la doble capa eléctrica, puestos de manifiesto por *Hermann von Helmholtz* (1821-1894), fueron modificados por *Gouy-Chapman* (1913) y *Stern* (1924). *Debye-Hückel* aplica la teoría a las disoluciones electrolíticas, estudiando el potencial eléctrico de las disoluciones, sus actividades y su termodinámica.



H. von Helmholtz (1821-1894)

También la materia orgánica es objeto de innumerables estudios. Después de los primeros trabajos de *Sprengel* (1826), *Berzelius* (1839) y *Mulder* (1862), se publican los trabajos de *Oden* (1919) sobre humina, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y ácidos himatomelánicos. *Shmook* (1930) estudia la naturaleza y estructura de las sustancias húmicas.

Hasta 1945, la mayor parte de los conceptos fundamentales en química del suelo estaban ya planteados. Antes de esa fecha, la dotación instrumental de los laboratorios de suelos era muy limitada. Se trabajaba con el fotocolorímetro (1925), el fotómetro de llama (1930), el pH-metro (1935), y poco más. Es en la segunda mitad del siglo XX que se produce un verdadero desarrollo instrumental. Aparece la cromatografía (1940-1950), los espectrofotómetros (1950), la absorción atómica (1955), la resonancia magnética (1960) y otras muchas técnicas

(espectrometría de masas, difracción de rayos X, microsondas, etc.) que han contribuido a lo que hoy es la *Ciencia del Suelo* y la *Química Agrícola*.



D. Arnon

D. Arnon (1910-1994)

El establecimiento de la esencialidad de diversos elementos químicos para las plantas fue un paso importantísimo para el desarrollo de la Química Agrícola. En 1910, *C.G. Hopkins* publicó su libro de texto titulado *Fertilidad del suelo y agricultura permanente*. En aquellos años, sólo 10 elementos se consideraban esenciales para las plantas: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y Fe. El único micronutriente presente en la lista era el hierro. De hecho las plantas lo utilizan en cantidad mayor que los restantes micronutrientes, aunque mucho menor que cualquier macronutriente. Investigaciones cuidadosas han conseguido ampliar la lista de nutrientes esenciales para las plantas. En 1912, *J.S. McHarge* demuestra la función esencial del manganeso en la planta. *Warrington* demostró el carácter esencial del boro (1923). *Sommer* establece de manera definitiva el carácter esencial del cinc (1926) y del cobre (1931). *Arnon* y *Stout* culminan una magnífica experimentación demostrando la esencialidad del molibdeno (1939). Finalmente, *Broyer* (1957) establece la esencialidad del cloro.

6. La Química Agrícola en la universidad española

España tiene una tradición reconocida en agricultura, derivada de una considerable superficie a ella destinada. Y aunque en algunas épocas la investigación agrícola estuviera un tanto olvidada, en los últimos 50 años los distintos gobiernos, conscientes de su necesidad, han venido concediendo una atención especial a este aspecto tan importante en la economía nacional.

Pese al carácter agrícola de nuestro país, no se había planteado con anterioridad a 1940, hecha excepción de la labor aislada de Huguet del Villar, un estudio científico del suelo, cuyo conocimiento es imprescindible para un establecimiento racional de la Agricultura.



J. M. Albareda (1902-1966)

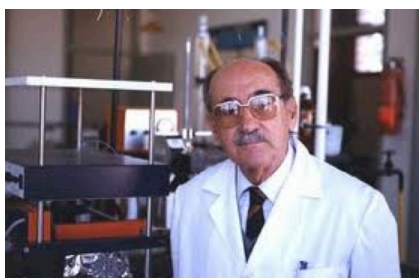
En 1940 se crea la Sección de *Química Agrícola* en el Instituto Rockefeller a instancias del *Prof. José María Albareda* (1902-1966), verdadero padre de la *Química Agrícola* en España. Con él se incorporaron otros nombres ilustres: *Lorenzo Vilas*, *Tomás Alvira*, *Angel Hoyos*, *Gutiérrez Ríos*, *Cruz Rodríguez* y algún otro, nombres que continúan dando gloria a la investigación científica española.

La *Química Agrícola* tuvo, probablemente, su primera relación institucional en España a través de *J.M. Albareda*. En 1935 consiguió un puesto docente en Madrid, donde los responsables de la investigación química se habían fijado en él para impulsar una línea de investigación en Química del suelo en la Universidad. En 1942 la introdujo en el Instituto de Edafología. El recién creado Instituto se convierte algo más adelante en Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal, y amplía así considerablemente su campo de actuación. Se establece de este modo el lógico contacto

entre suelo y vegetación.

El Ministerio de Agricultura, a través de Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), estableció una amplia red de estaciones experimentales situadas en las zonas más representativas desde el punto de vista agrícola, como Barcelona, Valencia, Logroño, Málaga, Murcia, Santa Cruz de Tenerife, etc. Cada una de estas estaciones ha venido estudiando los

problemas agrícolas más importantes de las regiones donde estaban implantadas, desarrollando muchas de ellas una notable tarea investigadora dentro del campo de la *Química Agrícola*.



E. Primo Yúfera (1918-2007)

Asimismo, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), a través de sus centros distribuidos en las diversas regiones, ha venido desarrollando una gran labor en esta especialidad. Sería demasiado extenso aquí realizar una reseña de todas las actividades realizadas en este sentido por los investigadores españoles en estos y otros centros nacionales de investigación, entre los que podemos incluir algunos departamentos universitarios. Pero sí creemos necesario señalar, como parte integrante de toda esta investigación los magníficos y extensos

trabajos que desarrollaron diversas personalidades de nuestra ciencia agraria. Así, debemos citar las aportaciones de los Profesores *Primo Yúfera* (Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia), *González García* (Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto, Sevilla), *Lucena Conde* (Centro de Edafología y Biología Aplicada, Salamanca), *Carpena Artés* (Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia), *Hernando Fernández* (Instituto de Edafología y Biología Vegetal, Madrid), *Cardús Aguilar* (Departamento de Edafología y Biología Vegetal, Barcelona), *González Sicilia* (Estación Experimental Naranjera de Levante, Valencia), *Recalde Martínez* (Estación Experimental del Zaidín, Granada), y muchos otros más, no menos importantes, cuya enumeración alargaría extraordinariamente este resumen, cuyos trabajos originaron la necesidad de iniciar la docencia agrícola en la universidad española.

La incorporación de la *Química Agrícola* en la actividad científico-docente de la Universidad

española se remonta al año 1958, época en que se inicia la enseñanza de la Ciencia Agrícola en la Universidad de Murcia. En su Facultad de Ciencias se creó entonces una especialidad agrícola optativa constituida por cuatro asignaturas: Edafología y Fertilizantes, Industrias Agrícolas, Bioquímica Vegetal y Microbiología Agrícola, a impartir en el quinto curso de la Licenciatura en Ciencias Químicas.



O. Carpena Artés (1920-1997)

Los años pasaron, y la gran aceptación que la Química Agrícola tuvo, tanto en su vertiente docente como investigadora, hizo que el Ministerio de Educación y Ciencia dotara una cátedra en 1965, *la primera cátedra de la Universidad española*, que quedó adscrita a la Facultad de Ciencias de Murcia, constituyéndose de esta forma en la pionera de la *Química Agrícola* en España.

La provisión de esta Cátedra confirió al *Prof. Carpena Artés*, titular de la misma, la gran responsabilidad de iniciar su docencia a nivel universitario. La enorme labor realizada, tanto a nivel docente como investigador, por el *Prof. Carpena* y sus colaboradores, dio como fruto la constitución del Departamento de *Química Agrícola* por Decreto 1005 de 20 de abril de 1967, en cuyo artículo 1º se establecía la constitución del Departamento de *Química Agrícola* de la Universidad de Murcia, agrupando en él las disciplinas de *Química Agrícola*, Edafología, Industrias Agrícolas y otras afines, quedando adscrita al mismo la Cátedra de *Química Agrícola*.

El traslado del *Prof. Carpena Artés* fue el origen de la impartición de la disciplina de *Química Agrícola* en otra universidad, al crear el Departamento de *Química Agrícola* en la Universidad Autónoma de Madrid.

En los últimos años, la docencia de la *Química Agrícola* se ha extendido a otras

Universidades. Hoy está reconocida, junto a la Edafología, a nivel de Departamento en muchas universidades españolas. Los resultados de este notable desarrollo quedan plasmados de forma clara al comprobar el importante volumen de tesis doctorales y publicaciones científicas, en la participación tan numerosa como cualificada en Congresos nacionales e internacionales, cursos de postgrado, participación considerable en proyectos de investigación y, sobre todo, en el número creciente de alumnos que desean obtener conocimientos en este campo científico.

7. Concepto y ámbitos de actuación de la Química Agrícola

Toda esta considerable investigación relacionada con la Agricultura ha experimentado un impulso grandísimo en el pasado siglo XX. Especialmente en los últimos 75 años, la investigación relacionada con la Agricultura, en la que la Química ha tomado parte directa, ha experimentado tal impulso que ello ha conducido, sin lugar a dudas, a muchos de los descubrimientos de la época presente. La enumeración, aunque tan solo sea en parte, de lo realizado y de los hombres que han contribuido a este desarrollo sería realmente fabuloso, y caen fuera de los límites impuestos a este breve resumen histórico. Hay que resaltar, sin embargo, que estos progresos no han sido debidos al trabajo de científicos de algún país determinado, sino de muchos y de muy distintos. Sus frutos son evidentes, porque la producción agrícola y la calidad de las cosechas son más altas y mejores que en cualquier tiempo pasado.

Esta contribución no ha sido, sin embargo, consecuencia exclusiva de la aplicación de los conocimientos químicos a determinados aspectos, 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 ella tienen lugar. El campo de la *Química Agrícola* es, indudablemente, hoy mucho más extenso; basta considerar la importancia que en la producción, e incluso en la rentabilidad agrícola, ha tenido la aplicación de sustancias obtenidas por el hombre, a menudo ajenas al Sistema Suelo-Planta. Así, los nuevos productos de acción hormonal, los plaguicidas, el enorme aprovechamiento de los subproductos agrícolas o la modificación de las condiciones naturales de los suelos, ha rebasado tan extraordinariamente los antiguos límites que rara es la actividad de la Química que, directa o indirectamente, no tenga o pueda tener relación con algún problema agrícola.

Con independencia, por tanto, del notable avance que se ha conseguido en el conocimiento del Sistema Suelo-Planta, la *Química Agrícola*, en el momento actual, tiene metas más amplias. En ella no sólo se debe estudiar la composición y características de los productos vegetales, los mecanismos y procesos por los cuales la planta se nutre, el medio en que se desarrollan y del que reciben el alimento, y los complicados procesos de interacción y metabolismo que conducen a la síntesis del mundo vegetal, sino que también debe dirigir sus esfuerzos a desarrollar todos los medios y sistemas que conducen a la obtención de productos que puedan aumentar los rendimientos de los cultivos, sustancias que combatan o inhiban a los enemigos de la planta, mejorar las condiciones de cultivo y estudiar los fenómenos químicos de orden externo que puedan favorecer u obstaculizar el desarrollo vegetativo. Junto a todo ello, si aceptamos que el objetivo final no es el producto sino el alimento de hombres y animales, resulta obvio que el estudio de los procesos químicos de degradación e incluso transformación es, o pueden ser, objeto de la *Química Agrícola*.

Varios hechos importantes se deducen de lo que hasta ahora hemos expuesto.

En primer lugar, la *Química Agrícola*, por los medios y conocimientos que aporta, es la base inmediata de un buen número de otras ciencias agrícolas que en la actualidad tienden a tener, o tienen ya, una entidad propia, y que sin su concurso sería muy difícil su desarrollo.

Un segundo hecho a resaltar es que la *Química Agrícola* no puede considerarse encerrada dentro de unos límites concretos. Sus posibilidades, ya de por sí extensas, se hallan grandemente ampliadas por esas íntimas conexiones, de tal manera que rara es la actividad de la Química que, directa o indirectamente, no tenga o pueda tener relación con algún problema

agrícola.

Por último, que los resultados conseguidos por la *Química Agrícola*, directamente o influidos por las necesidades demandadas por la propia Agricultura, han contribuido poderosamente al aumento y calidad de los productos agrícolas, a su conservación y a su rentabilidad.

La *Química Agrícola*, por tanto, no puede ceñirse solo al estudio de aspectos concretos, como apuntan algunas revistas especializadas; tampoco debe enfocarse hacia un criterio meramente productivo; ni incluso con el de su utilidad a la Agricultura.

La *Química Agrícola* debe tener un sentido y unas metas más amplias: Es la Química del suelo, de la planta y de todos los procesos y materiales agrícolas que, directa o indirectamente, puedan estar relacionados con la Agricultura. En definitiva, la *Química Agrícola* significa la convergencia, la integración de diversos sectores de la Ciencia Química hacia un objetivo común: El desarrollo y mejora de la Agricultura.

El *Grupo Especializado de Química Agrícola*, perteneciente a la Real Sociedad Española de Química, la definió, en 1984, así:

“La Química Agrícola es la disciplina que estudia los procesos químicos y bioquímicos relacionados con los elementos esenciales en el sistema suelo-planta y su incidencia en los rendimientos, calidad y transformación de los productos agrícolas. Así mismo, comprende los fertilizantes, la fertilización, los plaguicidas y su acción”.

Las numerosas posibilidades de la *Química Agrícola* que acabamos de exponer permiten comprender sobradamente la enorme amplitud y el desarrollo tan continuo que presenta en el momento actual, y también lo difícil que es el concretar los múltiples aspectos que en ella pueden incluirse. Sin embargo, algunos campos de actuación que pueden considerarse de vanguardia no ofrecen duda, no sólo para complementar y ampliar estudios ya emprendidos, sino también para iniciar otros actualmente inéditos. Exponemos a continuación algunos que pueden considerarse como más significativos.

Fracción inorgánica del suelo

Si la composición química de los minerales primarios del suelo es importante como fuente original de nutrientes, en lo que respecta al comportamiento del suelo en su conjunto, los minerales secundarios son, sin duda, los principales responsables, ya que a ellos se deben muchas de las propiedades físico-químicas que afectan a la nutrición de las plantas. En esta línea, los procesos de adsorción, intercambio iónico y quelación que se realizan en los suelos, y en donde participan las fracciones coloidales, siguen siendo temas ampliamente investigados. Los nuevos y valiosos conocimientos que se van obteniendo, gracias a los avances tecnológicos para el estudio de estos materiales (rayos X, análisis termogravimétrico y térmico diferencial, microscopía electrónica, resonancia magnética nuclear y más recientemente la electroultrafiltración) están sirviendo para modificar o sustituir teorías, en las que muchos aspectos no están totalmente aclarados.

Sin embargo, la complejidad de los nuevos problemas que han suscitado los avances en fertilizantes, incluyendo los quelatos, requieren mayores esfuerzos. En estos últimos, se está estudiando su estabilidad frente al fenómeno de competencia iónica y, sobre todo, su participación en los mecanismos de adsorción y desorción en el complejo coloidal del suelo.

Una especial atención se centra también en el estudio de las interacciones entre las distintas clases de arcillas y los plaguicidas, de cuya fijación depende su actividad, movilidad y degradación. Asimismo, sigue siendo escaso el conocimiento de la naturaleza y comportamiento de los materiales inorgánicos amorfos. Los óxidos de hierro y aluminio suministran una superficie reactiva capaz de retener aniones, en especial fosfatos, y cada vez existe más evidencia de que muchas de las propiedades de intercambio de los suelos se deben a la participación de estos óxidos. En este tema se está profundizando con la aplicación de las isotermas de adsorción-desorción, y empiezan a surgir ya nuevas teorías sobre el enlace entre el complejo coloidal y los aniones.

Está claro que, en lo referente a la fracción coloidal inorgánica del suelo, queda todavía mucho camino por recorrer.

Fracción orgánica del suelo. Humus

A pesar de lo mucho que se ha avanzado a través de dos siglos de investigación, el estudio del humus sigue siendo actualmente un tema de gran interés debido a las funciones de tipo físico, químico y biológico que desempeña en el suelo. Mucho se ha conseguido, pero es indudable que el conocimiento de su naturaleza y de los mecanismos de su formación y restauración está aún incompleto, lleno todavía de dudas y contradicciones.

Las distintas teorías, que a través del tiempo se han elaborado para explicar científicamente la formación del humus en el suelo, están de acuerdo en admitir que la humificación consiste en una serie de procesos de síntesis que conducen a la neoformación de compuestos húmicos más o menos solubles, resultantes de la descomposición de la materia orgánica precursora, y cuya naturaleza depende en gran parte de los factores externos que puedan determinar una diversidad de condiciones.

Pero en donde no se está de total acuerdo es en admitir si la lignina, y compuestos de ella derivados, constituye la materia prima formadora del humus; si lo son los carbohidratos u otros compuestos que también integran la materia orgánica original; o si lo son todos en su conjunto; ni si la formación del humus se debe a la acción sintetizante de los microorganismos o es una acción química, o ambas cosas; en la forma en que los compuestos nitrogenados quedan integrados en las estructuras húmicas neoformadas; y en la secuencia de reacciones que se producen durante el proceso general de la humificación.

Lo expuesto justifica sobradamente la necesidad de continuar la investigación en este campo. En tal sentido, hay que destacar los intentos de nuevos métodos de extracción, fraccionamiento o purificación de las sustancias húmicas; los dirigidos a la determinación de sus estructuras utilizando la instrumentación más avanzada, como la espectrometría de masas, radioisótopos y resonancia magnética nuclear. También hay que hacer mención a aquellos otros orientados a conocer las diferentes rutas bioquímicas que controlan su formación y evolución en el suelo.

Los avances que se van logrando son, bajo el punto de vista práctico, de suma importancia para comprender en su totalidad la humificación natural y tratar de ensayarla con vistas al mejoramiento de los suelos, del aumento de la producción y de la calidad de los alimentos.

Elementos esenciales para las plantas

La *Química Agrícola* tiene actualmente un amplio campo de trabajo en relación con los elementos esenciales para la vida vegetal.

Un primer aspecto a destacar es la posibilidad de establecer la esencialidad de nuevos elementos, como por ejemplo el níquel, sugerido recientemente. En esta línea, la investigación no sólo está dirigida a dicha búsqueda, sino también a dilucidar, en base a la tecnología y conocimientos actuales, si algunos considerados como beneficiosos, casos del rubidio, estroncio, aluminio o bario, o sólo esenciales para algunas plantas, casos del sodio, cobalto, silicio y vanadio, pueden ser incorporados a los 16 que hoy día están admitidos como esenciales para todas. Es obvio que ello requiere, junto a la puesta a punto de nuevos métodos de diagnóstico de nutrición, una amplia experimentación y una reconsideración de los criterios de esencialidad, establecidos en 1939 por *Arnon* y *Stout*, y no aceptados totalmente por algunos investigadores. Todo ello puede conducir también a un mejor conocimiento de la dinámica de estos elementos en la planta y al esclarecimiento de la función específica que, en casos como cloro y boro, aún no está totalmente establecida.

La cuestión de los nutrientes, que por encontrarse en el suelo en cantidades muy pequeñas requieren aportaciones frecuentes o ininterrumpidas, es otra faceta importante. Este es el caso del fósforo, que reacciona con todos los suelos en el estado de ortofosfato hasta su separación prácticamente cuantitativa; o del boro, donde las determinaciones clásicas nos dan muy poca

información respecto a la reserva del mismo, así como del ritmo de incorporación a la disolución del suelo.

En este último aspecto resulta paradójico que siendo el suelo agrícola el sustrato habitual para la nutrición vegetal, no haya sido posible aún elaborar una metodología capaz de realizar diagnósticos rigurosos. Por ello, la investigación se está centrando por una parte en el análisis de componentes fundamentales de las plantas: Aminoácidos, pigmentos, azúcares, flavonoides, etc.; y por otra, en los sistemas enzimáticos involucrados en el metabolismo de los nutrientes. El criterio de que la cantidad total de un elemento en la planta es significativo respecto al estado de nutrición, ya no puede aceptarse; sólo la fracción biológicamente activa es la verdaderamente indicadora de dicho estado.

En toda esta problemática es evidente que muchos otros aspectos requieren ser investigados con más intensidad: Los mecanismos de absorción de los elementos nutritivos, los factores que en ella pueden influir, sus interacciones, las alteraciones específicas provocadas por deficiencias, etc. son, sin duda alguna, líneas de investigación importantes.

Procesos químico-biológicos en el suelo

El estudio de los cambios químicos originados por las innumerables formas de vida animal y vegetal del suelo, revisten singular importancia para interpretar y utilizar mejor los numerosos procesos que en aquel acontecen. Tal es el caso de las transformaciones que experimentan bioelementos esenciales como el nitrógeno, fósforo, azufre, hierro o manganeso; la formación y fijación del dióxido de carbono; la fijación del nitrógeno atmosférico; la degradación de hidratos de carbono más o menos complejos, de proteínas y ácidos nucleicos, o la de plaguicidas. En resumen, la formación de sustancias imprescindibles en la mejora de la aireación y estructura del suelo. La posesión de esta información es de un considerable valor en agricultura. Veamos a continuación algunas cuestiones en las que se ha prosperado bastante, pero donde todavía la investigación tiene mucho que decir.

Dentro de la dinámica del nitrógeno en el suelo, el proceso de nitrificación, como es sabido, permite que la planta obtenga bajo la forma de nitrato, la mayor parte del nitrógeno que necesita. En suelos apropiados para el desarrollo de los microorganismos nitrificantes, si éstos alcanzan niveles altos pueden conducir a la superproducción de nitratos, con la subsiguiente pérdida por lavado. De ahí el interés por los inhibidores de este proceso, los cuales pueden ser realmente efectivos en determinadas épocas, o bajo ciertas condiciones en las que la planta no lo requiera con excesiva abundancia, por ejemplo en verano, periodos fuertes de lluvias, suelos de textura gruesa, etc. En este campo, aún no se han obtenido resultados totalmente convincentes, y en él se sigue investigando.

El metabolismo del azufre edáfico merece también especial atención. De una parte, porque la mayor proporción de este nutriente en los suelos agrícolas de regiones húmedas y semiáridas es de origen orgánico; y por otra, porque los modernos fertilizantes excluyen ordinariamente el azufre bajo la forma de sulfatos, predominante en otras épocas. Los mecanismos que rigen la mineralización de este azufre orgánico constituyen todavía un problema por resolver.

Finalmente, entre otros temas de importancia práctica que podrían señalarse, podemos citar las actuales investigaciones dirigidas a profundizar en el conocimiento del proceso por el cual determinados microorganismos facilitan la solubilización de formas insolubles de fósforo, con el consiguiente beneficio para la planta. Se sabe ya, en este aspecto, que las micorrizas (simbiosis entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas) aumentan la absorción del fósforo por el vegetal, debido a que las hifas del hongo que surgen de la raíz micorrizada amplían la zona de absorción de la planta, explorando un volumen de suelo mucho mayor que el normal. De esta forma, las plantas se benefician directamente de la acción de los microorganismos, que a su vez reciben fuentes de carbono asimilables.

En los últimos años ha despertado gran interés el estudio de asociaciones entre hongos de la micorriza vesículo-arbuscular (VA) y raíces de diversas plantas. En este sentido, las leguminosas ofrecen un interesante modelo de estudio, ya que son capaces de formar junto a

este tipo de asociación, la ya conocida desde hace tiempo leguminosa-Rhizobium. Hay que reconocer que también en este campo se requiere una mayor investigación para obtener resultados definitivos.

Fertilizantes

Los estudios actualmente en curso sobre la incidencia de los fertilizantes en el medio nutritivo y de su absorción por la planta están permitiendo la obtención de nuevos productos y formas de aplicación. Ejemplos significativos son la mejora en la fabricación de abonos artificiales a partir de paja, tratamiento de turbas para mejorar sus propiedades, aprovechamiento de basuras urbanas, fertilización microbiana, fertilizantes de acción gradual, abonos complejos, etc.

Dentro de este campo, los quelatos de síntesis merecen especial mención debido a sus grandes posibilidades de utilización. Son numerosos los preparados comerciales que contienen micronutrientes en forma de quelatos. Pero en realidad, la problemática que su uso plantea, en lo referente a su eficacia, estabilidad y magnitud de las interacciones suelo-planta, no está totalmente resuelta. Es esta, por consiguiente, una ruta de trabajo que requiere una urgente dedicación, no solo en los aspectos antes señalados, sino también para poder concretar el mecanismo de absorción por la planta, la liberación del micronutriente, los antagonismos que puedan presentarse con otros nutrientes y la toxicidad que puedan presentar para la planta.

Este último aspecto es realmente merecedor de ser investigado. Los quelatos que se encuentran en los sistemas biológicos naturales tienen funciones que son vitales, incluyendo catálisis de reacciones redox, transferencias de electrones, hidrólisis y síntesis de proteínas. Un quelante sintético puede inhibir la función de un metal-enzima si es suficientemente poderoso para competir con el enzima por el metal. No es pues sorprendente que los quelatos sintéticos puedan ejercer profundos efectos sobre algunos procesos fisiológicos que se realizan en las plantas.

Plaguicidas

Las aportaciones de la Química para combatir las plagas y enfermedades de los cultivos, iniciadas en la segunda mitad del siglo pasado, han originado el que actualmente se pueda disponer para tal fin de una amplísima gama de productos que permiten cada vez más reducir las cuantiosas pérdidas que en otras épocas se produjeron. Estos productos plaguicidas son moléculas complejas, biológicamente activas y más o menos tóxicas. Su actividad hace que se necesiten exhaustivos procedimientos de ensayo para examinar su comportamiento, no sólo en el organismo que se desea atacar y en la planta y/o animal huésped, sino también en otros sistemas como el suelo u otros organismos a los cuales puede llegar, bien directamente o a través de la cadena alimentaria.

Estos estudios son generalmente largos y costosos, y son realizados generalmente por empresas privadas multinacionales. Requieren muchos ensayos preliminares en laboratorio e invernadero, además de los posteriores en campo para comprobar su degradación, aparición de metabolitos, residuos, etc. Todo ello supone ya una importante línea de trabajo.

Junto a ello, se pueden señalar otras líneas de investigación dignas de tener en cuenta. Las condiciones geofísicas, agronómicas, socio-políticas y comerciales de cada lugar, ejercen una notable influencia en la demanda de un tipo de producto en particular, y también en la manera en que se formula, envasa y aplica. Además, hay unas 5000 especies distintas de plagas, enfermedades y malezas en unos 200 cultivos y animales huéspedes difundidas en países con diferente topografía, suelo, clima, etc. lo cual influye notablemente en la actividad de un plaguicida.

Hay que señalar, por último, el impacto social que el uso de los plaguicidas plantea. Campañas muy bien organizadas, a veces con manifiesta ignorancia de la problemática real, y favorecidas por desgraciados desastres ecológicos, han motivado controles legales cada vez más exigentes, tanto en el uso de los compuestos autorizados, como en la introducción y

registro de otros nuevos. En este aspecto, la investigación analítica se hace imprescindible y ello constituye ciertamente otra línea de investigación que ha proporcionado notables avances.

En 1965, 0.1 ppm se consideraba como el más bajo límite de detección en el análisis de residuos. Hoy, el desarrollo de la espectrofotometría de masas, espectroscopía infrarroja, cromatografía líquida y de gases, espectrometría de masas, permite detectar y cuantificar cantidades del orden del picogramo. Hay que considerar también que la toma y preparación de las muestras, así como la purificación de los extractos obtenidos, son aspectos importantes a los cuales hay que prestar gran atención para que los resultados finales puedan ser válidos. En todo ello, la cromatografía por tamización molecular presenta una gran eficacia.

Es evidente, por tanto, que en este campo, la *Química Agrícola* tiene actualmente un gran papel a desempeñar. Y también con vistas a un futuro, cuando los conocimientos actuales se vean completados con investigaciones basadas en una mejora de los mecanismos defensivos, alterando las pautas de crecimiento de la planta, aplicando nuevas sustancias que actúen como antidotos, o logrando una mayor selectividad de los nuevos productos que se vayan sintetizando.

Estudios de desarrollo y maduración de frutos

En los últimos años, los estudios encaminados a conocer la evolución de los frutos, sobre todo en su fase de maduración, ha alcanzado un gran interés. Por una parte permiten diferenciar entre los tipos de madurez: Fisiológica e industrial. Por otra, pueden suministrar los datos precisos a los industriales para que puedan utilizar los productos en el momento de máxima rentabilidad económica, que debe coincidir con la mayor calidad del fruto. Hay muchos ejemplos de este tipo de estudios. La evolución de la madurez de los frutos de hueso destinados a la industria conservera, la de los cítricos que van a ser conservados en cámaras para su posterior salida al mercado, la uva dirigida a la vinificación en relación con el tipo de vino que se quiera obtener, el pimiento destinado a ser transformado en pimentón, etc., son alguna de las muchas líneas de trabajo que en este sentido se pueden desarrollar, relacionándolas al mismo tiempo con problemas de suelos, fertilización, variedades, etc.

Aspectos químicos de procesos tecnológicos

Consecuencia inmediata de los estudios de maduración citados son los dirigidos a conocer la evolución de las características de los productos agroalimentarios durante los diversos tratamientos tecnológicos a que son sometidos.

La evolución de las sustancias pécticas (responsables de la firmeza de los frutos) durante los tratamientos por calor, los cambios producidos en los contenidos de ácidos, azúcares y otros compuestos, durante la conservación en cámaras (con frío o atmósferas controladas) de frutos cítricos, las variaciones en los ácidos, pigmentos y aromas de la uva durante la vinificación, las alteraciones producidas en el color del pimentón en diversos medios de conservación, etc., también constituyen objetivos importantes de la *Química Agrícola* que enlazan directamente con la tecnología agroalimentaria.

Otros ámbitos de actuación

Indudablemente, los ámbitos de actuación que brevemente hemos resumido y comentado no son los únicos dentro del campo de la *Química Agrícola*. Muchos otros pueden incluirse. Sin pretender establecer un orden prioritario, ni tampoco hacer una exposición exhaustiva, podemos citar estos otros:

- Utilización de nuevos procedimientos químicos para mejorar la calidad y producción de los productos agrícolas.
- Cultivo en condiciones controladas bajo cubierta y sistemas de nutrición en riego por goteo y similares.
- Síntesis de fitohormonas y otras sustancias con acción fisioterapéutica.
- Obtención de sustancias químicas naturales producidas en la planta y de interés económico.

- Conocimiento químico de nuevas sustancias de síntesis que permitan controlar la formación de flores y frutos, provocando o inhibiendo el crecimiento o cambios de forma.
- Correcciones de factores limitantes del suelo en el desarrollo vegetal, en los que están involucrados importantes aspectos de pH y enmiendas.
- Síntesis de nuevos productos de aplicación agrícola.
- Estudio químico de nuevas variedades más productivas y menos sensibles a los factores climáticos, enfermedades y plagas.
- Conocimiento de sistemas enzimáticos que regulan o catalizan procesos importantes del Reino Vegetal, aún inéditos.
- Aspectos derivados de la contaminación agrícola.
- Aprovechamiento de productos y subproductos vegetales.

Estos y otros muchos temas que podrían señalarse son indicativos de las grandes posibilidades que la *Química Agrícola* puede ofrecer.