

La Investigación en Agronomía

Francisco Manzano Agugliaro

Catedrático del Departamento de Ingeniería.

Director de los Servicios Centrales de Investigación

Universidad de Almería

fmanzano@ual.es

0.1. La Agronomía como ciencia

La agricultura tiene el gran reto de proveer de alimentos a una población mundial en continuo crecimiento, mientras que los recursos naturales siguen siendo siempre los mismos. Este gran reto, sin duda, está soportado a futuro por la Agronomía y sus ciencias afines entendidas en una primera aproximación como las disciplinas que aúnan conocimientos prácticos y técnicas con base científica que se aplican a la producción agrícola. Sin pretender realizar un análisis profundo de la cuestión, se pueden definir como las ciencias que estudian las condiciones físicas, químicas y biológicas aplicables al cultivo de las plantas y al perfeccionamiento general de la agricultura. Para ello es necesario el estudio de las relaciones entre el clima, el suelo, las prácticas culturales y el rendimiento y la calidad de los cultivos. Por tanto, la Agronomía integra ciencias como la Biología, la Química, la Edafología, la Ecología o la Genética, y el desarrollo de tecnología asociada a través de las distintas ingenieras, pero especialmente de la Ingeniería Agronómica.

Este gran reto, hoy en día, no puede ser entendido sin la sostenibilidad. El desarrollo sostenible a modo global «es un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades» (United Nations, 1992). Hay muchas teorías sobre el concepto de agricultura sostenible, entendidas como un conjunto de estrategias sobre todo de gestión que intentan mejorar o mantener la calidad de los alimentos sin comprometer el medio ambiente (Manzano-Agugliaro & Canero-Leon, 2010) o los ecosistemas (Tancoigne et al., 2014), ello sin perjui-

cio de mantener la productividad de los cultivos a largo plazo (Zapata-Sierra & Manzano-Agugliaro, 2017).

0.2. La investigación en Agronomía

La investigación en Agronomía a nivel mundial en general responde a los intereses particulares de cada país o región. Si se hace un análisis rápido de las publicaciones indexadas en la base de datos de Scopus observamos que la producción científica mundial relacionada con Agronomía ha tenido una tendencia ascendente en los últimos 25 años, véase Figura 0.1.

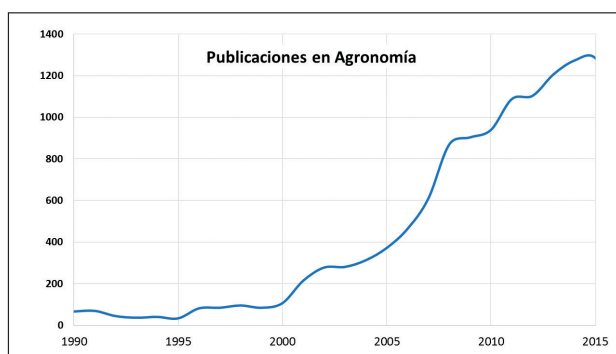


Figura 0.1. Evolución de las publicaciones relacionadas con la Agronomía entre 1990 y 2015

En la Figura 0.2 se han representado geográficamente, es decir por países, las publicaciones recogidas por la base de datos de Scopus sobre esta temática. Esta investigación mundial está liderada por USA, seguida de China e India en segundo y tercer lugar respectivamente, y por completar la lista de los líderes mundiales en este campo tenemos del cuarto al décimo puesto a: Canadá, Francia, Australia, Italia, España, Brasil y Reino Unido. Otros autores analizando la categoría de «Agronomy» de la Web of Knowledge llegan a las mismas conclusiones (Cañas-Guerrero et al., 2013).

La investigación en Agronomía se ha clasificado en las categorías científicas de Scopus según la Figura 0.3 (pág. siguiente), donde claramente dominan las ciencias agrícolas y biológicas como era de esperar. En segundo lugar, se observa la importancia con las ciencias ambientales, y en tercer lugar con la categoría de Bioquímica, Genética y Biología Molecular. El cuarto lugar lo ocupa la categoría de Ciencias de la Tierra donde se ubican muchas de las revistas con relación al suelo, al agua, o incluso la Teledetección. Llama la atención como la

categoría de Ingeniería ocupa el cuarto lugar, lo cual podemos considerar que es un lugar muy destacado, y que esta juega un papel importante dentro del desarrollo de la Agronomía.

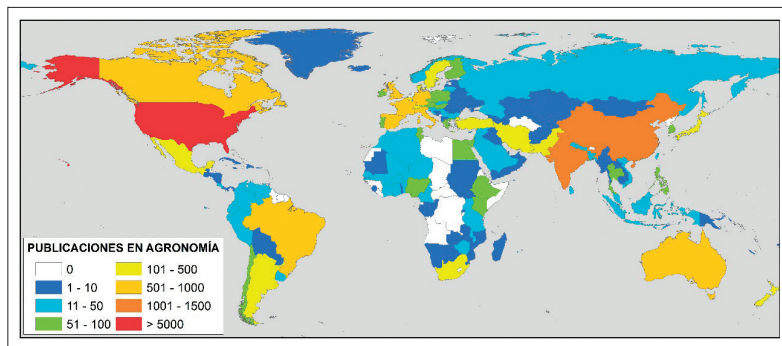


Figura 0.2. Representación geográfica del número de publicaciones recogidas por Scopus sobre Agronomía

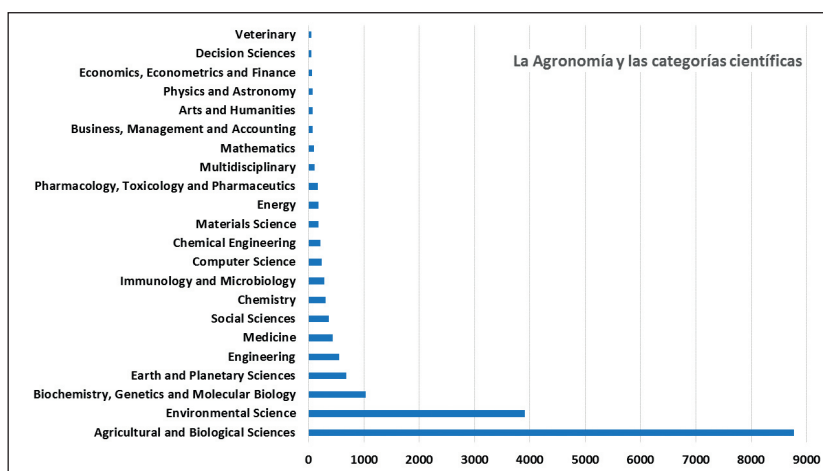


Figura 0.3. La clasificación de las publicaciones de Agronomía según categorías científicas

Las nubes de palabras se están empleando para visualizar las palabras clave de un determinado campo científico (Garrido-Cardenas & Manzano-Agugliaro, 2017). Si se hace una nube de palabras con todas las palabras clave empleadas en los artículos relacionados con Agronomía según la base de datos de

Scopus (Figura 0.4), donde el mayor tamaño indica que aparece mayor cantidad de veces, como era de esperar, las de mayor importancia son Suelos (Soils), Cultivos (Crops) y Agricultura (Agriculture). Respecto a los cultivos, el más estudiado es el Maíz (*Zea mays*), seguido del Trigo Harinero (*Triticum aestivum*) y luego en tercer lugar la soja (*Glycine max*). Los fertilizantes en general ocupan un papel destacado y dentro de ellos destaca el nitrógeno y luego el fósforo. Después se encuentra el riego y la calidad del agua. Se ha observado que hay gran número de publicaciones de Agronomía relacionadas con la Biomasa, entendemos que, desde dos puntos de vista, el aprovechamiento del residuo agrícola para biomasa (Callejón-Ferre et al., 2011) in southeastern Spain, generates some 1,086,261 t year⁻¹ (fresh weight) y el desarrollo de especies como cultivo energético (Openshaw, 2000). Por último, destacar que hay una gran sensibilidad por el tema ambiental relacionado con la Agronomía, así tenemos la monitorización medioambiental (Environmental Monitoring) y la contaminación del suelo (Soil Pollution) ya que estas palabras clave ocupan puestos entorno al 30 dentro de la lista de 160 palabras clave estudiadas (aquellas que se repiten más de 150 veces).

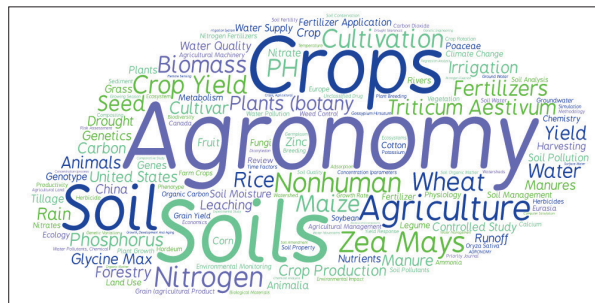


Figura 0.4. Nube de palabras clave de todos los trabajos de Agronomía (1995-2015)

0.3. La investigación en Agronomía y la necesidad de técnicas analíticas

Con la visión general ofrecida en los epígrafes anteriores parece clara la necesidad de un gran soporte científico y técnico para seguir progresando en la investigación en Agronomía y sus ciencias afines. Estos avances no serían posibles sin técnicas de investigación avanzadas en las que basarse, y estas a su vez en un equipamiento científico de primer nivel.

La Ley de la Ciencia de España (BOE, 2011) indica como objetivo «...el fomento de la investigación científica y técnica y sus instrumentos de coordina-

ción general con un fin concreto: contribuir al desarrollo económico sostenible y al bienestar social mediante la generación, difusión y transferencia del conocimiento y la innovación.» En dicha Ley se recoge gran parte de lo expuesto, por ejemplo, en lo relacionado con la investigación del sector privado *«... el sector productivo español, imponiéndose a una inercia histórica, está empezando a desarrollar desde fechas recientes una cultura científica, tecnológica e innovadora que es esencial para su competitividad. La economía española debe avanzar hacia un modelo productivo en el que la innovación está llamada a incorporarse definitivamente como una actividad sistemática de todas las empresas...»*; en la colaboración entre organismos públicos *«...establecer mecanismos eficientes de coordinación y de colaboración entre las Administraciones Públicas,...»*. Pero por no extender esta cuestión citaremos por último algunos de los retos pendientes del sistema:

- *«Un mayor y suficiente dimensionamiento del sistema y de sus agentes para responder a la escala de los problemas que tiene la economía y la sociedad a la que debe transferir sus conocimientos.*
- *Una mayor internacionalización.*
- *Una mayor participación y protagonismo de la iniciativa privada en el conjunto del sistema.*
- *Una mayor apertura y flexibilidad de los agentes públicos del sistema al sistema productivo y a la sociedad en su conjunto.*
- *Una mayor apuesta por la colaboración entre el conjunto de los agentes del sistema.*
- *Una extensión y profundización de la cultura de la innovación y de la asunción del riesgo en todos los órdenes y escalas del sistema productivo y del conjunto de los sistemas de la sociedad, con especial incidencia en el ámbito educativo y formativo.»*

En resumen, se tiene que buscar el dimensionamiento científico, que incluye los recursos humanos y materiales, y una mayor apuesta por la colaboración. Como es de suponer, en cada centro de investigación tienen un equipamiento científico que les permite abordar la investigación que están realizando. Pero dados los progresos en este campo, es cada vez más complejo y costoso disponer de un equipamiento avanzado para poder realizar las analíticas necesarias. Es por ello que, la tendencia generalizada es a emplear o compartir esta infraestructura científica con el doble objetivo de colaborar científicamente entre instituciones públicas y privadas, y de paso ayudar a mantener el equipamiento científico.

Regulado por cada organismo público el modo en el que puede llevarse a cabo la colaboración científica, y concretamente el uso del equipamiento cien-

tífico, resulta muy oportuno plantear el alcance y aplicación del equipamiento científico concreto en aras de aumentar la «*colaboración para la valorización y transferencia de resultados, y de prestación de servicios de investigación y de asistencia técnica*» (BOE, 2011).

Con esta filosofía y objetivos, en los siguientes capítulos de este libro, se plantean la preparación de muestras y aplicación del equipamiento científico de una institución en concreto, la Universidad de Almería, cuya ubicación geográfica y entorno socio económico la hace muy importante en la investigación en Agronomía y ciencias afines.

Análisis elemental

José Manuel García Vargas

*Servicios Centrales de Investigación
Universidad de Almería*

jmvargas@ual.es

1.1. Introducción

El análisis elemental, como técnica instrumental, es utilizado para la determinación de los porcentajes de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno, elementos presentes en compuestos orgánicos e inorgánicos tanto en muestras sólidas como líquidas.

Esta técnica surgió por la necesidad de determinar elementos, creando así un tipo de instrumentación particularmente sensible, que consumen poca sustancia, y que se basan en la descomposición oxidativa de un compuesto. Por ello se diseñaron los Analizadores Elementales, que están concebidos solo para la determinación de unos pocos elementos, generalmente carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, los cuales suelen estar presentes en toda clase de compuestos y que, al ser elementos de baja masa atómica, los métodos de absorción atómica o de fluorescencia de rayos X, no son adecuados para la determinación cuantitativa de los mismos. Este análisis elemental específico se suele emplear en sectores relacionados con la industria agroalimentaria y farmacéutica, entre otras.

Ya en la Edad Media se sabía de la presencia de hidrógeno y carbono en determinadas sustancias, pues se había observado que en su combustión se generaba vapor de agua y dióxido de carbono. Posteriormente, se descubrió que, además de estos dos elementos, otros como el oxígeno y el nitrógeno, así como azufre en menor proporción, estaban presentes en un gran número de sustancias. Por tanto, el procedimiento para analizar un compuesto desconocido comienza identificando el contenido de los elementos enumerados anteriormente, siendo este el primer paso para describir su fórmula empírica. En 1923 se concedió el premio Nobel de Química al austriaco Fritz Pregl por la invención de un método de análisis de sustancias orgánicas, método basado en la total

combustión a temperatura elevada de un compuesto. Lo que realmente hizo Pregl fue adaptar a micro escala (del orden de 100 veces menor), métodos de análisis ya descritos, permitiéndole así consumir muy poca cantidad de muestra en sus determinaciones, solo unos pocos miligramos. Así utilizó procedimientos ya descritos como el de Liebig, Dumas y Carius, para determinar carbono e hidrógeno, nitrógeno y azufre respectivamente (Rouessac & Rouessac, 2004).

En los primeros equipos de microanálisis carbono-hidrógeno (C, H) que Pregl diseñó, la combustión de la muestra se realizaba a 750 °C en presencia de oxígeno, y la muestra a analizar debía tener una masa de unos pocos miligramos (entre 1 y 3). La posterior transformación del monóxido de carbono (CO) en dióxido de carbono (CO₂) se llevaba a cabo al pasar el CO sobre una mezcla de óxido de cobre (CuO) y cromato de plomo (PbCrO₄) (Figura 1.1). Las masas de los elementos C e H se calculaban a partir del aumento de peso de los tubos previamente tarados, que contenían uno perclorato de magnesio (Mg(ClO₄)₂) (para H₂O) y otro una mezcla de hidróxido sódico (NaOH) y óxido e hidróxido cálcico (Ca(OH)₂) (para CO₂).

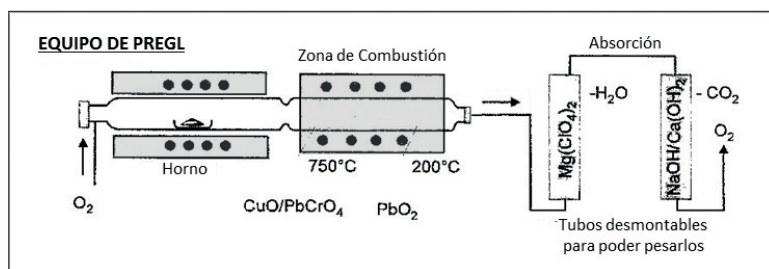


Figura 1.1. Esquema de los primeros equipos de microanálisis carbono-hidrógeno

La adaptación de estos procedimientos a la escala microanalítica llevada a cabo por Pregl no fue tarea fácil. En las microdeterminaciones de carbono e hidrógeno realizadas se detectaba la presencia de nitrógeno, azufre y halógenos como consecuencia precisamente de la reducción de escala de trabajo. Tales contaminantes fueron eliminados mediante un relleno universal del tubo de combustión, Pregl denominó así la combinación dentro del tubo de combustión de óxido de cobre, plata metálica, cromato de plomo y dióxido de plomo, teniendo este relleno la función de retener o atrapar aquellos elementos que no fuesen dióxido de carbono y vapor de agua, de tal manera que esta mezcla aseguraba la retención de los gases causantes de interferencias en la determinación del hidrógeno y carbono. Advirtió Pregl, además, errores circunstanciales por

exceso. Estos errores se producían únicamente cuando empleaba tubos nuevos, que tenían como misión transportar el oxígeno para la combustión. Pregl intuía que el caucho empleado en la fabricación de los tubos desprendía sustancias volátiles, y estas eran arrastradas por el oxígeno, ya que estos errores solo se producían cuando empleaba tubos nuevos. Para solventar este problema Pregl ideó un método muy sencillo, consistente en hacer pasar por los tubos, antes de su utilización, una corriente de oxígeno durante un espacio prolongado de tiempo, de esta manera consiguió envejecer artificialmente estos tubos de caucho y por tanto desaparecieron así los errores.

Posteriormente apareció una segunda generación de analizadores de la mano de Simon, (Figura 1.2), al añadir un dispositivo de reducción de los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular por medio de cobre en polvo. Se trata de los analizadores CHN, en los cuales, para simplificar las operaciones, las dobles pesadas se reemplazan por medidas de diferencias de conductividad térmica de mezclas gaseosas antes y después de pasar por una trampa selectiva para el agua o para el dióxido de carbono (Gnaiger & Bitterlich, 1984).

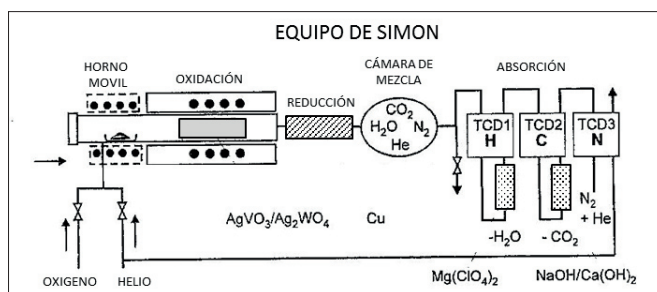


Figura 1.2. Segunda generación de analizadores. TCD: Detector de Conductividad Térmica

1.2. Técnica

Los modernos equipos de análisis elemental permiten determinar el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre (C, H, N y S) presente en muestras orgánicas e inorgánicas, tanto sólidas como líquidas. Así, los analizadores actuales mantienen el fundamento de la combustión, pero utilizan la cromatografía como método para la separación de los gases formados.

El principio de funcionamiento es muy sencillo y práctico. Tras la etapa de oxidación donde la muestra se quema en la cámara de combustión a una temperatura de unos 1.200 °C y en presencia de oxígeno puro, los gases liberados (CO_2 , H_2O , NO_x y SO_x) son transportados al tubo de reducción empuja-

dos por una corriente de helio como gas portador. En dicho proceso los gases NOx y SOx son transformados en N₂ y SO₂, de tal modo que todos los gases formados (CO₂, H₂O, N₂ y SO₂) son posteriormente separados selectivamente en columnas específicas. Finalmente, los gases son desorbidos térmicamente y conducidos de forma separada a un detector de conductividad térmica (TCD) que proporciona una señal proporcional a la concentración de cada uno de los componentes individuales de la muestra. Igualmente, los gases obtenidos pueden ser conducidos a un detector de captura de electrones, los cuales suelen ser más sensibles que el TCD, lo que es de especial utilidad para el caso del SO₂.

Algunos modelos de microanalizadores permiten medir el oxígeno elemental, siempre de un modo separado y a partir de una segunda muestra. En este caso, la muestra se piroliza en presencia de carbono níquelado, que actúa como catalizador para formar monóxido de carbono (CO) a partir del oxígeno presente en la muestra.

1.3. Microanálisis CHNS

Un equipo de microanálisis actual es capaz de realizar determinaciones fiables y precisas en muestras con bajo contenido material, entre menos 0.5 y 10 mg (Figura 1.3) y está formado por los siguientes componentes (Figura 1.4):

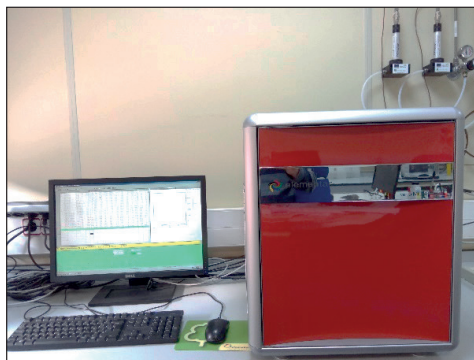


Figura 1.3. Equipo de microanálisis actual

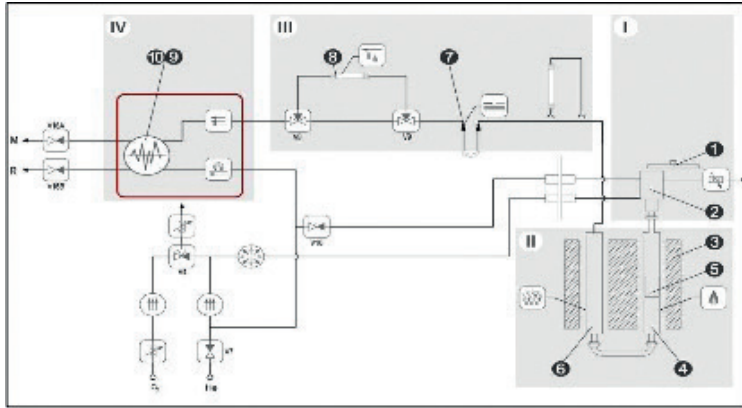


Figura 1.4. Componentes de un equipo de microanálisis actual

I. Área de inserción de muestras y sistema de dosificación de O_2

1. Carrusel: está constituido por una plataforma donde se depositan las muestras para ser transportadas mediante un movimiento circular a la válvula de bolas.
2. Válvula de bolas: la muestra a analizar es depositada en el compartimento interior de la válvula para reemplazar el aire exterior por gas helio, antes de ser transportada al tubo de combustión.

II. Área del horno y zona de reacción

3. Horno: Mantiene el tubo de combustión y el tubo de reducción a temperatura constante y, por tanto, asegura los resultados de análisis.
4. Tubo de combustión/oxidación (Figura 1.5A): es donde tiene lugar la completa combustión de la muestra, a $1150\text{ }^\circ\text{C}$. La atmósfera en el tubo de combustión es enriquecida momentáneamente con oxígeno puro (dependiendo del método de trabajo que con anterioridad se haya programado) y así, los elementos contenidos en la muestra (C, H, N y S) se queman para formar los siguientes productos de reacción: CO_2 , H_2O , N_2 , NO_x , SO_2 , SO_3 . Este tubo contiene un relleno interior de óxido de wolframio que actúa como catalizador para minimizar los efectos dañinos que las muestras con conte-