

CONFERENCIA DEL ACADEMICO CORRESPONDIENTE

Ing. Agr. RICARDO M. TIZIO

APORTES DE LA FISIOLOGIA VEGETAL

A LA PROBLEMATICA AGRONOMICA

La Fisiología vegetal, como rama de las Ciencias Botánicas, fue en sus comienzos eminentemente descriptiva del particular comportamiento de las plantas silvestres y cultivadas en sus hábitos de crecimiento.

Los rápidos y decisivos aportes derivados del desarrollo de las Ciencias Físicas, Químicas y Naturales determinaron que la Fisiología Vegetal fuera adquiriendo un cariz cada vez más experimental.

La presente disertación no pretende hacer un análisis exhaustivo de los numerosos trabajos que comenzaron a indagar sobre la naturaleza de procesos vitales tales como Fotosíntesis, Respiración, Nutrición mineral, Absorción de agua y Transpiración, sino exponer algunos ejemplos particularmente demostrativos del aporte de la Fisiología a la solución de muchos problemas agronómicos.

A partir de la década de los años 10, la Fisiología Vegetal intentó, en base a la aplicación del método experimental, indagar acerca de una serie de fenómenos inherentes al funcionamiento integral de la planta en relación al medio que la rodea. De allí los trabajos clásicos de Sachs y de Gardner y Allard sobre el comportamiento fotoperiódico de varias especies, los de Maximov en el área de las relaciones hídricas y los de Darwin, Went, Kögl y Haagen Smit acerca de la existencia y acción de ciertas fitohormonas, en particular de las auxinas.

El conocimiento gradual de la acción

de ciertos elementos minerales sobre el crecimiento de las plantas en sus diversas manifestaciones, sentó las bases agronómicas de la fertilización e incorporación al suelo de elementos nutrientes, y de las condiciones edáficas que rigen la dinámica de los mismos en el suelo.

Los trabajos culturales de abonadura y fertilización edáfica constituyen actividades normales y necesarias para la obtención de altos rendimientos, complementados con tareas racionales de rotación de los cultivos.

La nutrición mineral por vía foliar constituye un complemento a menudo importante pero no excluyente de la que se realiza por vía edáfica. En esencia, basa la composición de la solución salina a aplicar teniendo en cuenta el objetivo agronómico buscado. Así por ejemplo, si éste implica la obtención de follaje, la misma deberá ser predominantemente rica en nitrógeno, sin obviar aquellos que hacen a un eficiente cumplimiento del proceso fotosintético y sea convenientemente balanceada. Contrariamente, si el objetivo se centra en la producción de tubérculos, por ejemplo de papa, la solución nutritiva deberá ser particularmente rica en anión fosfato, catión potasio y anión borato que aseguren, no sólo un alto rendimiento a través de la fotosíntesis, sino también la fosforilación y migración de aquellos hidratos de carbono a los sitios de acumulación en aquellos órganos de reserva.

Otro ejemplo digno de destacar es

el estudio de la fotosíntesis a campo. La densidad de siembra o de plantación determina, para cada especie, formas de cobertura foliar conocidas bajo el nombre de "canopeo". Ellas se basan en la búsqueda de una óptima actividad fotosintética por unidad de área foliar, como base de altos rendimientos agronómicos. Así por ejemplo, estudios muy recientes realizados en California han demostrado que los actuales clásicos sistemas de conducción de la vid, no se adecuan en función de una fotosíntesis eficiente, compatible con un máximo potencial de rendimiento en fruto. Los nuevos sistemas en estudio tienen en cuenta que más de cuatro estratos foliares superpuestos hacen que las hojas más sombreadas se transformen en consumidoras y no en productoras de hidratos de carbono, hecho que redundaría en menores rendimientos por planta.

El conocimiento de la acción de las fitohormonas ha permitido adecuarlo a la solución de diversos problemas. El más conocido es el relativo a la aplicación de herbicidas sistémicos y de contacto que han permitido aumentar el rendimiento de numerosas especies útiles, al rescatarlas de la competencia de las malezas.

El enraizamiento de estacas, el "cuajado", ralea y maduración de frutos, la prevención de caída de precosecha, el control de la dormición de yemas y de numerosas semillas, se han basado en el conocimiento de los mecanismos hormonales que regulan aquellos fenómenos agronómicos.

El conocimiento de la acción de ciertas giberelinas sobre el crecimiento de los frutos, ha contribuido a aumentar el tamaño de las bayas de vides estenospermas destinadas a la producción de uva en fresco.

Otros reguladores sintéticos como los retardantes contribuyen, mediante la inhibición de la síntesis de giberelinas endógenas, a lograr la enanización, sin efectos formativos sobre la floración y fructificación, de algunas especies frutales como el manzano, con la consiguiente economía de mano de obra para poda y cosecha de frutos.

El conocimiento de las relaciones hídricas y su dinámica a nivel celular,

de tejidos y órganos demostró que la mayoría de las especies no requieren, durante sus respectivos ciclos vegetativos, un mismo y constante aporte de agua, en particular en zonas de regadío, donde el agua constituye un importante componente del costo agronómico. Así por ejemplo, se ha demostrado que especies como la papa, cebolla y remolacha poseen períodos críticos de necesidad hídrica coincidentes con las etapas de tuberización, bulbificación y engrosamiento radical, que condicionan el rendimiento de esas plantas.

Serían innumerables las descripciones de otros ejemplos demostrativos de la aplicación de conocimientos fisiológicos sobre los que se asientan aspectos de muchas técnicas agronómicas modernas.

Es por ello que se considera oportuno describir la sucesiva aplicación de conocimientos fisiológicos en el devenir del desarrollo tecnológico de la producción de una especie en particular.

Según Kopetz (1937), Kopetz y Steineck (1954) y Howard (1971) la papa en sus orígenes fue una planta de reacción fotoperiódica de día corto para tuberizar. Sucesivos trabajos de selección genética señalados por Mendoza y Haynes (1973, 1974, 1976) lograron que se comportara como una planta indiferente al largo del día, de manera que pudo ser cultivada en regiones de días largos durante la época propicia para el cumplimiento normal de su ciclo vegetativo. Así por ejemplo, las zonas más apropiadas para la producción de "semilla" de papa son las correspondientes al sur de Canadá, norte de los Estados Unidos, la de Bretaña en Francia, Holanda, norte de Alemania y centro y sur de Suecia, entre otras.

Según Constantín (1930), en Europa se observó que el material de "semilla" proveniente de regiones de montaña se comportaba mejor que el producido en el llano, con buen estado sanitario en relación a enfermedades por virus y con más altos rendimientos.

Algunos cultivares de excelente valor culinario como Bintje y en particular Rose en Francia, pronto mostraron estar endémicamente infectados

de ciertos virus. El conocimiento de la acción de las auxinas sobre el crecimiento vegetal posibilitó el estudio de la relación entre dichos reguladores y la presencia y concentración viral.

Los trabajos realizados por Kasanis y de Pavillard, Morel y Martin demostraron que los ápices meristemáticos de la planta de papa, ricos como centros de síntesis auxínica, carecían de partículas virales. La utilización de la técnica del cultivo "in vitro" de tejidos y órganos simultáneamente desarrollada por Gautheret en Francia y White en Estados Unidos durante la década de los años treinta, permitió el cultivo de ápices meristemáticos de papa libres de virus. El desarrollo de ejes caulinares a partir de dichos órganos permitió obtener estacas susceptibles de generar pequeños tubérculos libres de virus recuperando de ese modo dichos cultivares.

Como consecuencia de haber observado que material de papa "semilla" importado de Canadá y Estados Unidos decaía en sus rendimientos luego de dos o tres generaciones producidas en el área papera del sudeste de la Provincia de Buenos Aires, el grupo de la cátedra de Fisiología Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Plata inició, en la década del 50 una serie de trabajos tendientes a demostrar que el comportamiento descrito podría deberse a un decaimiento de tipo ecológico simultáneo al provocado por virus.

Luego de varios ensayos llevados a cabo durante cinco años, se demostró que altas temperaturas imperantes sobre tubérculos "semilla" almacenados o creciendo unidos a la planta madre, provocaban una disminución gradual y progresiva de los rendimientos. Los resultados obtenidos permitieron sentar la hipótesis que en regiones de relativamente altas temperaturas imperantes durante el crecimiento de las plantas y de sus tubérculos hijos, dicho factor era capaz de producir un decaimiento clonal conocido como "degeneración" o decaimiento ecológico expresado en una disminución de la capacidad productiva unida a una mayor receptividad a enfermedades de virus.

Trabajos realizados en Francia permitieron confirmar aquella hipótesis al

trabajar simultáneamente con material de "semilla" expuesto previamente a altas y bajas temperaturas y luego inoculado a campo con virus X. Los resultados obtenidos con el cultivar Bintje demostraron un 35 % de disminución significativa del rendimiento con un mayor porcentaje, también significativo, de receptividad al agente patógeno (Tizio, 1955, 1962).

Trabajos posteriores realizados por Went (1959) en los Estados Unidos y por Kawakami (1962) en Japón utilizando material libre de virus confirmaron los trabajos anteriormente expuestos.

En base a un trabajo publicado por Savic (1943) sobre el fenómeno denominado "incubación", Claver (1951, 1953) y colaboradores del grupo de Sívori, iniciaron una serie de ensayos tendientes a aclarar aspectos de su fisiología. Se definió a la incubación como el período que se extiende desde la brotación de un tubérculo hasta el inicio de la formación de tubérculos hijos por parte de la planta originada por aquél o bien hasta el desarrollo de los mismos órganos a partir de tubérculos madres colocados en condiciones definidas como óptimas de incubación, es decir, semiplantados en vermiculita húmeda, a oscuridad continua, bajo condiciones de alta humedad relativa y a una temperatura de 15 a 18° C.

La evolución del fenómeno, conocido también bajo la denominación de "edad fisiológica", tiene lugar en el seno de los tubérculos "semilla". La velocidad con que el fenómeno ocurre depende de la temperatura de conservación. Los resultados obtenidos fueron confirmados por Madec y Perennec en Francia durante los años 50 y 60, hecho que les permitió sentar las bases de técnicas relacionadas con la correcta conservación de papa "semilla" en "germinaderos" o en frigoríficos de ventilación forzada únicamente dedicados a aquel propósito. Tales condiciones permiten mantener un adecuado potencial de rendimiento del material dedicado a consumo o a la producción de papa "semilla".

El grupo holandés de Wageningen formado por van der Zaag, Bodlaender, van Loon y Hartmans publicaron en

1987 una serie de trabajos acerca del efecto del grado de incubación o de edad fisiológica sobre la modalidad de crecimiento de los brotes y de las plantas crecidas a campo, como así también sobre el rendimiento, confirmando las conclusiones a que arribó el grupo de La Plata.

Los conocimientos adquiridos sobre la fisiología de la incubación determinaron la necesidad de ahondar los estudios relativos al mecanismo fisiológico de la tuberización de la papa, en particular en relación a compuestos de naturaleza hormonal.

Los trabajos se realizaron en Francia, en el laboratorio del Profesor Roger J. Gautheret durante los períodos 1963-64 y 1968-70 complementados con los que luego se realizaron en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo y en el Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Ello permitió poner en evidencia la intervención de por lo menos cuatro factores: 1) un factor de origen radical denominado "factor radical" que se sintetiza en las raíces durante el crecimiento de éstas y que retarda la tuberización estimulando a su vez el crecimiento de los estolones (Tizio, 1964, 1966). Trabajos posteriores confirmaron que el mismo era de naturaleza giberelínica. Convenientemente aislado y purificado por Guiñazú y Abdala (1987), fue identificado como giberelina A3 (ácido giberélico) en el laboratorio del Dr. Richard Pharis de la Universidad de Calgary, Canadá. 2) ciertas giberelinas sintetizadas durante el crecimiento del follaje que retardan la tuberización, estimulan el crecimiento de los estolones y de los ejes caulinares (Okazawa, 1959, Tizio 1964, 1966, 1970). La acción de estas fitohormonas se adiciona parcialmente a la ejercida por las raíces.

El proceso de evolución hacia la tuberización (incubación) coincide con una progresiva disminución de los niveles de giberelinas endógenas en el follaje (Racca y Tizio, 1968) los que son casi nulos en los ápices estoloníferos en vías de tuberización (Pont Lezica, 1970).

3) Un factor denominado empíricamente "factor luz" que se sintetiza en

el follaje estimulando la formación de tubérculos. Secciones de brotes de papa cultivadas "in vitro" sometidas a períodos variables de luz continua, tuberizan significativamente antes que las expuestas constantemente a oscuridad continua. Dicho comportamiento se pone en evidencia cuando las variables se colocan luego a oscuridad continua a una temperatura de 18 a 20° C.

4) Ciertos compuestos fenólicos, en particular el ácido cafeico, que antagoniza parcialmente la acción retardante de las giberelinas sobre la tuberización, y cuyos niveles aumentan progresivamente durante el proceso de incubación (Paupardin y Tizio, 1969, 1970).

Actualmente se cree que el mecanismo hormonal de la tuberización en papa depende de la interacción de los factores enumerados, sobre la base de determinadas relaciones de concentración a nivel estolonífero.

En cuanto a la fisiología de la dormición de tubérculos de papa, se puso en evidencia que dicho estado fisiológico coincidía con altos niveles, en la peridermis y yemas de dichos órganos, de un complejo inhibidor denominado inhibidor β por Hemberg (1952). Trabajos posteriores de este investigador y colaboradores (1970) demostraron que dicho complejo actuaba, entre otros fenómenos, como desacoplante de la fosforilación oxidativa. La desaparición o ruptura de dicho estado mediante el uso de rindita o clorhidrina etilénica, coincidía con una abrupta desaparición de dicho complejo inhibidor (Hemberg, 1965, 1987).

El estudio de la composición química de dicho complejo fue objeto de numerosos trabajos, demostrándose que su principal componente es el ácido abscísico, acompañado de ácido salicílico (Holst, 1971).

El estado de dormición comienza con la formación misma de los tubérculos, el que se acorta gradualmente a medida que crecen unidos a la planta o bien luego de cosechados.

Al inicio de dicho estado, los niveles de giberelinas libres son nulos, pero aumentan gradualmente hacia el final del período, de manera que su aparición, bastante antes de la ruptura

ra, no constituye una consecuencia de este proceso, aunque aún no puede afirmarse que sea su causa (de Bottini et al, 1982).

Los trabajos realizados sobre la fisiología de la tuberización sentaron las bases de la técnica de micropropagación de esta especie. Ella se basa en el cultivo de ápices caulinares libres de virus, los que luego de un período de aproximadamente treinta a cuarenta días dan lugar, al cultivarlas en un medio "in vitro" adecuado, a plántulas constituidas por ocho a diez entrenudos (Roca et al 1975, 1978).

Trabajos realizados por Hussey y Stacey (1980, 1981) demostraron la posibilidad de obtener grandes cantidades de plántulas a partir del cultivo de estacas uninodales. Usando el medio de cultivo "in vitro" de Murashige y Skoog (1962) lograron obtener la formación de microtubérculos al cabo de cuatro meses, luego de colocar las plántulas a días cortos (8 hs.). En nuestro laboratorio, dicho período se acortó a dos meses, repicando las plántulas, previamente crecidas en aquel medio carente de agar (líquido), en el medio preconizado por White (1943) para macronutrientes, adicionado de micronutrientes de Nitsch (1951) y del complejo vitamínico de Morel (1948).

Los microtubérculos obtenidos alcanzaron un peso medio de aproximadamente 400 a 500 mg, los que se obtuvieron al colocar las plántulas, luego del repique a aquel último medio, a oscuridad continua y a una temperatura de 20 a 22° C (Rosell et al, 1987).

Ensayos en ejecución en la región "semillera" de Malargüe (provincia de Mendoza) están demostrando que de las 5 a 6 plántulas contenidas en cada frasco, una o dos de ellas crecen hasta alcanzar el tamaño de una planta normal, con un rendimiento similar al producido por otra formada a partir de tubérculos "semilla" utilizados por los agricultores.

Los microtubérculos pueden utilizarse bajo dos formas diferentes. Una de ellas consiste en plantarlos en macetas de 8 a 10 cm. de diámetro para

dar lugar, en condiciones de invernáculo, y durante todo el año, a los llamados minitubérculos de un peso aproximado de 30 a 40 g., susceptibles de ser plantados a campo por una plantadora automática.

El otro destino es el de plantarlos directamente a campo, sombreándolos de manera similar a las plántulas durante un cierto tiempo, a fin de impedir que las jóvenes plantas originadas por ambos materiales no sufran de estrés hídrico que altere el crecimiento de las plantas y la producción de tubérculos.

La metodología ideal consiste en plantar el material bajo jaulas a prueba de insectos de manera de mantener un óptimo estado sanitario hasta una tercera generación, en particular el relativo a la posibilidad de infección viral.

No obstante esta precaución deben efectuarse pruebas serológicas periódicas (Test E.L.I.S.A.) a fin de eliminar las plantas atacadas y su descendencia.

El uso cada vez más extendido de material de laboratorio ha tenido la virtud de mejorar sustancialmente el nivel de aptitud técnica con que los productores trabajan en la actualidad.

Ello trae aparejado disminuir progresivamente la importación periódica de material que en no pocas ocasiones determinaron la introducción de graves enfermedades desconocidas en las regiones "semilleras". Por otra parte, ello implica un considerable ahorro de divisas calculadas en aproximadamente quince millones de dólares anuales.

Para terminar, es necesario destacar que los progresos que se logren en el conocimiento del crecimiento y desarrollo de especies de interés agronómico, dependerá de una inteligente política de integración de grupos de trabajo y del quehacer interdisciplinario y aún interinstitucional, de manera que los problemas a resolver se basen en un nivel científico y tecnológico de avanzada.