

LA ENSEÑANZA DE LA FISIOTECNIA VEGETAL EN COLOMBIA

Gustavo Ballesteros Patrón¹

INTRODUCCION

Desde tiempos inmemoriales el hombre se ha interesado por el estudio de las plantas bajo diferentes puntos de vista. Al estudio del funcionamiento de los procesos vitales de las plantas se le ha llamado Fisiología Vegetal.

La Fisiología Vegetal se ha desarrollado a tal grado que han surgido especializaciones y líneas colaterales, tales como la Fisiología de Organos y Células, Fisiología de Herbicidas y Fitorreguladores, Nutrición y Metabolismo, Crecimiento y Desarrollo, Fisiología Postcosecha, Fisiología de Cultivos (Fisiotecnica Vegetal), Relaciones Hídricas, Ecofisiología, Genética Fisiológica, y otras.

Ante el aumento descomunal de información y la velocidad con que se produce nuevo conocimiento en cada una de estas especializaciones, en la actualidad es difícil que un fisiólogo pueda mantenerse al día siquiera en el área de su particular interés.

En el campo de la Fisiología Vegetal se han desarrollado dos grandes tendencias:

a) El enfoque de estructuras y procesos aislados; b) La fisiología de la planta entera.

Ambos enfoques son complementarios y en el presente análisis se considera que el

primero se atiende con los cursos generales de Fisiología Vegetal que se ofrecen en las Facultades de Agronomía y el segundo con los cursos de Fisiología de Cultivos o Fisiotecnica Vegetal que integran los procesos y estudian el comportamiento vegetal en condiciones de campo.

EL CAMPO DE LA FISIOTECNIA VEGETAL O FISILOGIA DE CULTIVOS

En Agronomía existen términos que se refieren a los mismos campos de estudio; tal es el caso de la Fisiología de Cultivos, la Ecofisiología y la Fisiotecnica Vegetal². En la literatura científica los más comunes son Ecofisiología Vegetal y Fisiología de Cultivos.

En el Cuadro 1 se presenta un análisis somero de los principales temas abordados en textos relacionados con la Fisiología de Cultivos, comparándolos con los temas del Curso Fisiotecnica Vegetal (GEN 609)

¹ Estudiante colombiano del Programa Doctoral, Centro de Botánica, Colegio de Postgraduados, y becario de la Red Latinoamericana de Botánica. C.P. 56230. Chapingo, México.

² Fisiología es el tratado de la naturaleza de los fenómenos vitales (metabolismo, crecimiento, desarrollo, reproducción). Si estos fenómenos se estudian en relación al ambiente entonces se dice que el tratado es ecológico o ecofisiológico. Cuando se refiere a cultivos se denomina Agrofisiología o Fisiología de Cultivos. El mundo de estos conocimientos que permiten generar técnicas de cultivo se encuadra en la Fisiotecnica Vegetal (Ing. J. Bustamante O. Investigador del Programa de Hortalizas. C.E. Zacatepec. CIFAP-Morelos; comunicación personal).

Cuadro 1. Información relacionada con la Fisiotecnia Vegetal, según diferentes autores.

Temas	Autor y texto								
	Hay y Walker (1989).	Gardner <i>et al.</i> (1985).	Evans (1983).	Castro <i>et al.</i> (1980).	Medina (1977).	Larcher (1986).	Eastin <i>et al.</i> (1969).	Milthorpe y Moorby (1979).	Ortiz y Mendoza (1983).
Ambiente.	Nitrógeno, agua y patógenos.			Factores de la producción vegetal.		Ambiente de plantas.	Manipulación del ambiente.	Ambiente.	Interacciones genotipo-ambiente.
Semillas.		Semillas y germinación.			Germinación.		Manipulación de la germinación.	Germinación y emergencia.	Tamaño de semilla y competencia inicial.
Agua.	Estrés hídrico y fotosíntesis.	Relaciones hídricas.			Relaciones del agua en las plantas.	Relaciones hídricas.	Relaciones agua-planta.	Relaciones agua-planta.	Criterios de resistencia a sequía.
Nutrición mineral.		Nutrición mineral.	Nutrición mineral.		Relaciones nutricionales y metabolismo radical.	Nitrógeno. Utilización y ciclaje de elementos minerales.	Nitrógeno	Nutrición de plantas.	
Metabolismo.	Eficiencia fotosintética, fotosíntesis y fotorrespiración. Respiración.	Fotosíntesis.	La base fisiológica del rendimiento de los cultivos.	Fotosíntesis en el dosel de las plantas.	Asimilación del C.	Utilización del C y producción de materia seca.	Fijación de CO ₂ . Relación fotosíntesis respiración.	Fotosíntesis y respiración.	Radiación. Fotosíntesis laminar y no laminar.
Relaciones fuente-demanda.	Distribución de materia seca.	Transporte y distribución de asimilados.			Distribución de asimilados.	Economía del C en la planta.	Translocación. Relaciones fuente-demanda.		Relaciones fuente-demanda.
Doseles.	Intercepción de la radiación solar por el dosel.	Fijación de C por doseles.					Productividad y morfología. Intercepción de luz.		Area foliar e intercepción de luz. Doseles.

Continúa.....

Cuadro 1. (Continuación)

Temas	Autor y texto								
	Hay y Walker (1989).	Gardner <i>et al.</i> (1985).	Evans (1983).	Castro <i>et al.</i> (1980).	Medina (1977).	Larcher (1986).	Eastin <i>et al.</i> (1969).	Milthorpe y Moorby (1979).	Ortiz y Mendoza (1983).
Arquetipos.							Arquetipos vegetales.		Arquetipos vegetales.
Crecimiento.	Crecimiento y desarrollo, crecimiento vegetativo, floración y fructificación.						Integración del desarrollo y rendimiento.	Crecimiento vegetativo y reproductivo.	Crecimiento y desarrollo. Relación entre fenología y rendimiento.
Análisis del crecimiento.					Análisis del crecimiento.			Análisis del crecimiento.	Análisis del crecimiento y de los componentes del rendimiento.
Otros temas.	Historia de casos: cereales, papa, pastos. Modelos de simulación para cultivos.	Fijación biológica del N. Regulación del crecimiento de la planta. Crecimiento radical.	Cultivos y abastecimiento mundial de alimentos. Evolución y orígenes de la fisiología de los cultivos. Maíz, caña de azúcar, arroz, trigo, arveja, papa, remolacha y algodón.	Ecofisiología de caña de azúcar, café, cítricos, hule, arroz, forrajeras, cacao.	Aspectos especiales del metabolismo vegetal: síntesis de sustancias tóxicas. Competencia intra e inter-específica.	La planta como un sistema. Análisis de factores ecológicos. Características especiales de la metodología ecológica.	Competencia.	Predicción de respuestas.	Competencia. Cultivos asociados. Adaptación. Índices fisiotécnicos.

impartido en el Centro de Genética del Colegio de Postgraduados. En su análisis destaca que los temas fotosíntesis y producción, crecimiento y análisis, relaciones fuente-demanda, relaciones agua-planta, ambiente de producción y nutrición mineral, se mantienen en la mayoría de los casos, por lo que estos temas podrían considerarse como el objeto principal de la Fisiotecnica Vegetal o Fisiología de Cultivos.

Adicionalmente, puede observarse en el Cuadro 1 que en muchos textos se abordan aspectos fisiológicos específicos relacionados con biología molecular, reguladores del crecimiento, tamaño de semilla, fijación biológica de nitrógeno, crecimiento radical y síntesis de sustancias tóxicas, lo cual indica que son muchos los temas potenciales de esta área del conocimiento.

LOS MODELOS COLOMBIANOS DE LA ENSEÑANZA EN FISIOTECNIA VEGETAL

Situación general

En Colombia funcionan ocho facultades de Agronomía (Pasto, Palmira, Medellín, Montería, Santa Marta, Bogotá, Manizales, Ibagué, Villavicencio y Tunja); siete de ellos forman agrónomos generales con un fuerte énfasis hacia la Fitotecnica, y en una (Ibagué) se forman en varias especialidades, con base en un modelo que ha sido fuertemente cuestionado. En muchas de estas escuelas existe preocupación sobre la necesidad de ir más allá del estudio de los procesos fisiológicos aislados que se abordan en un curso de Fisiología General, donde por razones de tiempo y debido a que los estudiantes aún no han cursado las materias de

minales, se dificulta la integración de conocimientos que permitan analizar la producción de los cultivos en función de su potencial genético, factores ambientales, prácticas agrícolas y procesos fisiológicos del vegetal. Se ha planteado entonces la necesidad de ofrecer un curso de Fisiología de Cultivos (en Colombia no se habla de Fisiotecnica Vegetal) y ya se han hecho algunos esfuerzos en este sentido. Aunque existen algunos temas comunes, todavía no hay una visión unificada y el enfoque predominante depende de las motivaciones particulares de quienes elaboran los modelos, del substrato investigativo local, de la infraestructura de apoyo y del contenido de cursos relacionados incluidos en el *curriculum*.

El modelo de la Universidad Nacional de Colombia

A nivel postprofesional, en Colombia se iniciaron los cursos de Fisiología de Cultivos en la década de los años sesenta, organizados por la Escuela de Postgrado en Ciencias Agrícolas en Santa Fé de Bogotá de la Universidad Nacional y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). En 1968 se publicó el libro "Introducción a la Fisiología de los Cultivos Tropicales", cuya temática aparece en el Cuadro 2. Este modelo fue tomado de universidades norteamericanas por técnicos que hicieron allá su postgrado y fue el primer intento colombiano por formular un cuerpo básico en el área de la Fisiología de los Cultivos Tropicales. Este curso se impartió durante mucho tiempo en Bogotá y sirvió de patrón para la organización de cursos similares en algunas facultades de agronomía colombianas, durante unos diez años, hasta el colapso de la Escuela de Postgrado.

Cuadro 2. El modelo de la Universidad Nacional de Colombia.

		Autor y texto	
Temas	ICA-Univ. Nacional. Introducción a la Fisiología de Cultivos Tropicales. Bogotá, 1968.	Escuela de Postgrado, Univ. Nacional. Curso de Fisiología de la Producción. Bogotá, 1986.	Universidad Nacional. Facultad de Agronomía. Fisiología de Cultivos. Bogotá, 1991.
Ambiente.	Ambiente.	Factores del rendimiento.	Factores externos e internos que afectan la fotosíntesis.
Semillas.	Las semillas.		Siembra y germinación.
Agua.	Relaciones agua-planta.	Relaciones agua-planta.	
Nutrición.	Nutrición vegetal.	Nutrición vegetal.	
Metabolismo.	Fotosíntesis y respiración.	Radiación. Fotomorfogénesis. Eficiencia fotosintética.	Fotosíntesis de cultivos. Respiración.
Crecimiento.	Crecimiento vegetativo y reproductivo.		Análisis del desarrollo.
Análisis del crecimiento.	Análisis del crecimiento.	Análisis del crecimiento.	Análisis del crecimiento.
Postcosecha.	Fisiología de postcosecha.		
Otros temas.	Biología molecular.	Reguladores del Crecimiento. Macollamiento. Competencia.	Relación fuente-vertedera. Competencia. Macollamiento. Vuelco. Cosecha. Almacenamiento. Fisiología del arroz, maíz, soya y frutales.

A mediados de la década de los 80's se reorganizó la Escuela de Postgrado bajo la tutela de la Universidad Nacional de Colombia (UNC), con maestrías en Ciencias Agrícolas en las cuales se ofrece un curso de Fisiología de la Producción, con una temática básicamente similar a la del curso antes referido (Cuadro 2).

Con la redefinición de los contenidos del curso básico de Fisiología y el ofrecimiento de una materia optativa sobre las Relaciones Agua-Planta, se ha organizado un curso obligatorio de Fisiología de Cultivos, que enfatiza los factores que afectan la fotosíntesis, el análisis del crecimiento y del desarrollo, los factores del rendimiento y puntualiza sobre la fisiología del arroz (*Oryza sativa*), maíz (*Zea mays*), soya (*Glycine max*) y frutales (Cuadro 2).

En la UNC hay grupos de investigadores trabajando en la fisiología de algunas plantas cultivadas de interés comercial y aunque se tienen limitaciones de equipo se han logrado acumular valiosas experiencias en este campo. En la Universidad Nacional de Bogotá existe el proyecto de elaborar un nuevo texto de Fisiología de Cultivos con base a la experiencia en docencia y en investigación señalada.

El modelo de la Universidad de Córdoba

La Universidad de Córdoba tiene 25 años de existencia y funciona en la Llanura Caribe Colombiana. En ella se han adelantado acciones de revisión curricular y de modernización, entre las que se destaca el fortalecimiento del área de Fisiología Vegetal a través de las siguientes acciones:

- Redefinición del contenido del curso de Fisiología Vegetal.

- Organización del curso de Fisiología de Cultivos.
- Inclusión del curso de Fisiología de Herbicidas y Fitorreguladores.

De esta manera se busca profundizar en el conocimiento del funcionamiento de las plantas como columna básica en la formación de los agrónomos y evitar traslapes en los contenidos de materias relacionadas. Un grupo de egresados del Colegio de Postgraduados de Chapingo jugó un importante papel en este proceso de innovaciones. Así, la Fisiología Vegetal Básica quedó con los temas siguientes: germinación, crecimiento vegetal, regulación del crecimiento, absorción de agua y de iones, transpiración, transporte por xilema y floema, fotosíntesis, respiración y fotorrespiración, floración y fructificación.

El curso de Fisiología de Cultivos fue planteado siguiendo básicamente el modelo de Fisiotecnia Vegetal del C.P., incluyendo algunos elementos de resistencia a sequía, nutrición vegetal y fisiología de cultivos (Cuadro 3). Debido a la carencia de equipo (analizador de gases, porómetro, psicrómetros) las prácticas enfatizan sobre mediciones del crecimiento y del rendimiento, efectos del manejo y del ambiente sobre los cultivos y visitas a lotes comerciales de la zona. El listado de prácticas es el siguiente:

- Análisis del crecimiento.
- Estudio de los componentes del rendimiento.
- Efecto de densidad de siembra, fertilización, fechas de siembra y competencia en los cultivos.
- Estudio de las relaciones fuente-demanda.
- Evaluación de resistencia a sequía.

Cuadro 3. El modelo de la Universidad de Córdoba (Colombia) y sus relaciones con los cursos de Fisiotecnia Vegetal y Fisiología de Cultivos que ofrece el Colegio de Postgraduados de Chapingo-Montecillo, México.

Temas	Autor y Texto			
	Universidad de Córdoba. Fisiología de Cultivos. Montería, Col., 1991	Ortiz y Mendoza. Curso de Fisiotecnia Vegetal. Colegio de Postgraduados. 1983.	González. Curso de Fisiotecnia Vegetal Avanzada. Colegio de Postgraduados, 1990.	Kohashi. Curso de Fisiología de Cultivos. Colegio de Postgraduados, 1990.
Ambiente.	Factores del ambiente y su relación con el crecimiento y el rendimiento.	Interacciones planta-ambiente.	Evaluación de respuestas a factores ambientales.	Evaluación de respuestas a factores ambientales. Stress.
Semilla.		Tamaño de semilla.		
Agua.	Resistencia a sequía. Relaciones agua-planta.	Criterios de resistencia a sequía.	Relaciones hídricas.	
Nutrición mineral.	N, P, K en relación al rendimiento de los cultivos.			
Metabolismo.	Fotosíntesis y productividad de cultivos. Respiración y fotorrespiración.	Radiación y fotosíntesis. Fotosíntesis no laminar.	Intercambios de CO ₂ en las plantas. Respiración.	
Relaciones fuente-demanda.	Relaciones fuente-demanda.	Relaciones fuente-demanda.	Relaciones fuente-demanda. Translocación.	
Doseles.		Area foliar e intercepción de la radiación. Doseles.		
Arquetipos.		Arquetipos vegetales.		
Fenología.	Fenología de cultivos.	Fenología.	El crecimiento y desarrollo vegetal. Etapas.	
Análisis del crecimiento.	Análisis del crecimiento y de los componentes del rendimiento.	Análisis del crecimiento y de los componentes del rendimiento.	Análisis del crecimiento vegetal. Índices de eficiencia.	Análisis del crecimiento y de los componentes del rendimiento.
Otros temas.	Efectos del ambiente, genotipos y manejo sobre cultivos (algodón, sorgo, arroz, asociación maíz-ñame-yuca).	Competencia. Cultivos asociados. Adaptación.	Físico-química de los gases. Técnicas para medir fotosíntesis y respiración. Uso de radioisótopos.	Aspectos morfológicos y fisiológicos relacionados con el rendimiento en maíz y frijol.

Visita a lotes comerciales de la zona para apreciar el efecto de factores bióticos, abióticos y de manejo sobre el sorgo (*Sorghum bicolor*), algodón (*Gossypium hirsutum*), arroz, y la asociación maíz-ñame-yuca (*Zea mays*-*Dioscorea alata*-*Manihot esculenta*).

Una aportación importante fue la estructuración de una temática que evitara traslapes y replicación de temas propios de áreas relacionadas como Bioquímica Agrícola, Ecología Vegetal, Suelos, Fisiología Vegetal y Fisiología de Herbicidas. Otra inquietud fue sobre el nivel de profundidad con que se abordarían los temas y sobre las prácticas necesarias para complementar la fase teórica. Al final se logró un deslinde razonable con las áreas colaterales, la definición de un cuerpo básico de prácticas y se acordó tratar los capítulos con la profundidad que tienen los cursos de Fisiotecnica Vegetal del C.P. de Chapingo-Montecillo, México, buscando siempre relacionar la temática con ejemplos locales.

En el contenido destaca el estudio de los efectos de clima, suelo, genotipo y manejo sobre el crecimiento y los rendimientos de los cultivos tropicales. Por tener en la zona de influencia áreas con limitaciones hídricas se incluyó la Fisiología de la Resistencia a la Sequía. Debido a la existencia de suelos de sabanas (lomeríos) con problemas nutrimentales, también se abordan algunos aspectos de nutrición mineral en relación con el rendimiento de los cultivos. Los estudios sobre metabolismo se centran en la fotosíntesis con referencias someras a respiración y fotorrespiración. El análisis del crecimiento se trata con gran profundidad por considerarlo una herramienta útil en la investigación agronómica, así como las relaciones fuente-demanda. Para no quedarse en generalidades o referirse demasiado a

ejemplos propios de otras latitudes, en todos los casos se procura analizar situaciones específicas de los cultivos de la región (algodón, sorgo, arroz, asociación maíz-ñame-yuca).

Esta visión recoge los modelos de Fisiología de Cultivos y Ecofisiología propuestos, entre otros, por Alvin y Kozlowski (1977), Evans (1983), Hay y Walker (1989).

Un modelo similar ha sido puesto a consideración en la Universidad Nacional de Medellín.

Su implementación en Córdoba ha permitido fortalecer el conocimiento de los vegetales y avanzar en la comprensión del funcionamiento de los cultivos tropicales. El análisis del crecimiento y de los componentes del rendimiento se ha popularizado como herramienta de investigación en la mayoría de las tesis de Agronomía. Los índices de eficiencia se han incorporado a los programas de evaluación de genotipos y se ha iniciado un programa de resistencia a sequía.

OTRAS INICIATIVAS

En el campo de la enseñanza, la investigación y la extensión en Fisiología de los Cultivos merece señalarse el aporte de instituciones como el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) con una gran tradición en la investigación agrícola y que recientemente ha sido equipado con instrumental moderno para medir procesos fisiológicos; el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), bien financiado y equipado en el cual se realizan trabajos sobre frijol (*Phaseolus vulgaris*), yuca, arroz y pastos tropicales; el Centro de Investigaciones del Café (CENICAFE) y el Centro de Investigaciones de la caña (CENICAÑA).

BIBLIOGRAFIA

- Alvin, P. and T. Kozlowski. 1977.** Ecophysiology of Tropical Crops. Academic Press. N. York. 502 p.
- Castro, P. R., S. O. Ferreira y T. Yamada. 1980.** Ecofisiología da Producao Agricola. Asoc. Bras. para Pesquisa de K y P. Piracicaba. Brasil. 249 p.
- Eastin J. D., F. A. Haskins, C. Y. Sullivan and C. H. M. Van Bavel. (eds.). 1969.** Physiological Aspects of Crop Yield. Amer. Soc. of Agron. 396 p.
- Evans, L. T. 1983.** Fisiología de los Cultivos. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires. 420 p.
- Gardner, F., R. Brent, and R. Mitchell. 1985.** Crop Physiology. Iowa State Univ. Press. Ames, Io. 330 p.
- González H., V. A. 1990.** Notas del Curso de Fisiotecnica Vegetal Avanzada. C.P. Montecillo, Méx. (inéd.).
- Hay, R. and J. Walker. 1989.** An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Longmen Sci. Tech. N. York. 292 p.
- ICA-Univ. Nacional. 1968.** Introducción a la Fisiología de los Cultivos Tropicales. Bogotá, Colombia. (inéd.).
- Kohashi, J. 1990.** Notas del Curso de Fisiología de Cultivos. C.P. Montecillo, México. (inéd.).
- Larcher, W. 1986.** Ecofisiología Vegetal. Edit. Pedag. Univer. Sao Paulo, Brasil. 311 p.
- Medina, E. 1977.** Introducción a la Ecofisiología Vegetal. Edit. OEA, Washington. 102 p.
- Milthorpe, F. and J. Moorby. 1979.** An Introduction to Crop Physiology. Cambridge Univ. Press, London. 243 p.
- Ortiz C., J. y L. Mendoza O. 1983.** Notas del Curso de Fisiotecnica Vegetal. C.P. Chapingo. México. (inéd.).
- Univ. Nacional. 1986.** Notas del Curso de Fisiología de la Producción. Escuela de Postgrado. Univ. Nacional, Santa Fé de Bogotá, Colombia. (inéd.).
- _____. 1991. Notas del Curso de Fisiología de Cultivos. Fac. de Agronomía. Bogotá, Colombia. (inéd.).