

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
NUTRICIÓN VEGETAL**

**I. DATOS GENERALES**

Unidad Académica:	Departamento de Fitotecnia
Programa Educativo:	Ingeniería Agronómica Especialista en Fitotecnia
Nivel Educativo:	Licenciatura
Línea Curricular:	Agrobiología
Asignatura:	Nutrición Vegetal
Carácter:	Obligatorio
Tipo:	Teórico-Práctico
Prerrequisitos:	Fisiología Vegetal, Bioquímica Vegetal y Edafología.
Profesores:	Ing. Francisco Rodríguez Neave Dra. Ma. Edna Álvarez Sánchez Dr. Ranferi Maldonado Torres Dr. Miguel Ángel Vergara Sánchez Dr. Joel Pineda Pineda Dra. Ana María Castillo González
Año:	Quinto
Semestre:	Primero
Horas Teoría/Semana:	3
Horas Práctica/Semana:	1.5
Horas Totales del Curso:	72
Horas Trabajo Independiente/Semana:	2.25
Créditos:	6.75
Clave:	

## **II. INTRODUCCIÓN**

El curso de Nutrición Vegetal se ubica en el primer semestre del quinto año del Programa Académico de Ingeniería Agronómica Especialista en Fitotecnia. Es un curso teórico-práctico medular dentro del plan de estudios, debido al impacto de los programas de fertilización en los sistemas de producción de los cultivos y la adaptación y/o tolerancia a estreses edáficos. Comprende los procesos involucrados en el suministro, absorción y utilización de los elementos esenciales para el crecimiento y producción de las plantas cultivadas, en relación con la cantidad y calidad del producto. De tal manera, que el alumno adquiera las herramientas básicas que le permitan diseñar un plan de fertilización racional, acorde a sus condiciones de cultivo, con el objeto de producir de manera sustentable productos agrícolas inocuos. El curso se relaciona de manera horizontal con la asignatura de Principios de Riego Agrícola, y de forma vertical, con los cursos de Bioquímica Vegetal, Fisiología Vegetal, Edafología y con todos aquellos relacionados con la producción de los cultivos (cereales, leguminosas, ornamentales, hortalizas y frutales). El curso se desarrolla mediante la exposición por parte del profesor, quién promueve la participación constante de los alumnos mediante el análisis y discusión de los temas revisados en clase, resolución de ejercicios ilustrativos como parte del trabajo independiente, así como con la participación activa en el desarrollo de prácticas a nivel de laboratorio, campo e invernadero.

La evaluación consistirá en exámenes parciales, participación y reportes de prácticas, así como el trabajo independiente (resolución de ejercicios).

## **III. PRESENTACIÓN**

La nutrición vegetal es una de las vías más efectivas para influir sobre la productividad de los cultivos. Es una rama de la Fisiología Vegetal y se considera como una ciencia de integración. Contempla los procesos, mecanismos y factores que determinan la disponibilidad en suelo o sustrato, el suplemento, absorción y utilización de los elementos esenciales para las plantas cultivadas, en relación con

la cantidad y calidad de la producción. Establece las bases teórico-prácticas para que el alumno maneje racionalmente la fertilización de los cultivos; de tal manera, que sea capaz de diseñar el plan de fertilización (inorgánica, orgánica, foliar) acorde a sus condiciones y necesidades; considerando el producir de manera sustentable, productos agrícolas inocuos que cumplan con los parámetros de calidad del mercado nacional e internacional.

#### **IV. OBJETIVOS**

Identificar los conocimientos básicos de los factores físico-químicos del suelo que determinan la disponibilidad de nutrimentos en las plantas cultivadas; así como analizar los mecanismos de suplemento, absorción, transporte y utilización de los mismos, que permitan desarrollar la capacidad de comprender, diagnosticar y resolver problemas relacionados con la nutrición vegetal mediante la implementación de programas racionales de fertilización (orgánica, inorgánica y/o foliar), que conduzcan a una producción satisfactoria en cantidad y en calidad, considerando el cuidado del entorno ecológico del cultivo y la inocuidad del producto, a fin de garantizar bienestar a la salud del consumidor.

#### **V. CONTENIDO**

##### **UNIDAD I. Introducción (6 h)**

**Objetivo:** Definir a la nutrición vegetal como una ciencia derivada de la fisiología vegetal estableciendo su relación con la productividad de los cultivos, además de identificar los elementos esenciales que integran a la materia seca de las plantas cultivadas, sus cantidades y los criterios que determinan su esencialidad.

1.1. Origen, objetivos y definición de la Nutrición Vegetal.

1.2. Elementos y nutrimentos

1.2.1. Composición de la materia vegetal

1.2.2. Criterios de esencialidad

1.2.3. Formas de los nutrimentos para que la planta los absorba

1.2.4. Clasificación de los nutrimentos con base en:

a) los requerimientos de las plantas

- b) forma iónica absorbida
- c) funciones en las plantas
- 1.2.5. Funciones de los elementos
- 1.2.6. Curvas de abastecimiento nutrimental
- 1.2.7. Elementos químicos útiles
- 1.2.8. Sustancias orgánicas fisiológicamente activas

## **UNIDAD II. El suelo como medio de abastecimiento nutrimental (9.0 h)**

**Objetivo:** Proporcionar los conocimientos básicos y herramientas que permitan integrar los principios físicos, químicos, biológicos y ambientales del suelo que determinan la disponibilidad de los nutrimentos en las plantas cultivadas, y de los mecanismos mediante los cuales los elementos son llevados hacia la superficie de la raíz de las plantas y son absorbidos.

- 2.1. El suelo como fuente de nutrimentos
  - 2.1.1. Componentes del suelo
- 2.2. Procesos que se presentan en el suelo
  - 2.2.1. De liberación de nutrimentos
    - 2.2.1.1. Mineralización
    - 2.2.1.2. Disolución
    - 2.2.1.3. Intercambio catiónico
    - 2.2.1.4. Intemperismo
  - 2.2.2. De inmovilización de nutrimentos
    - 2.2.2.1. Intercambio catiónico
    - 2.2.2.2. Adsorción
    - 2.2.2.3. Precipitación
    - 2.2.2.4. Inmovilización
- 2.3. Características físico-químicas del suelo que determinan la disponibilidad de los nutrimentos
  - 2.3.1. Ph
  - 2.3.2. Textura
  - 2.3.3. Materia orgánica
  - 2.3.4. CIC
  - 2.3.5. PSB
  - 2.3.6. Balances nutrimentales
    - 2.3.6.1. Relaciones catiónicas
  - 2.3.7. CE
- 2.4. Los microorganismos y la disponibilidad nutrimental
- 2.5. La solución del suelo
  - 2.5.1. Concentración
  - 2.5.2. Formas iónicas de los nutrimentos

- 2.5.3. Cálculo de la actividad iónica
- 2.6. Mecanismos de abastecimiento nutrimental a la raíz
  - 2.6.1. Flujo de masas
    - 2.6.1.1. Definición
    - 2.6.1.2. Importancia en el aporte nutrimental
  - 2.6.2. Difusión
    - 2.6.2.1. Definición
    - 2.6.2.2. Importancia en el aporte nutrimental
  - 2.6.3. Intercepción-intercambio por contacto
    - 2.6.3.1. Definición
    - 2.6.3.2. Modelos y ecuaciones
    - 2.6.3.3. Importancia en el aporte nutrimental

### **UNIDAD III. Absorción nutrimental (9 h)**

**Objetivo:** Identificar las estructuras celulares de la raíz responsables de la absorción para conocer los factores condicionantes y principios que rigen el paso de los minerales a través de la membrana radical.

- 3.1. Anatomía de la raíz
- 3.2. Estructura y composición de la pared celular
- 3.3. Concepto de apoplasto y simplasto
  - 3.3.1. Movimientos apoplástico y simplástico de iones
  - 3.3.2. Espacio libre aparente
    - 3.3.2.1. Espacio libre acuoso
    - 3.3.2.2. Espacio libre de Donnan
    - 3.3.2.3. Efecto de Ph y CIC de la pared celular de la raíz en la selectividad iónica
- 3.4. Estructura y función de la membrana celular
  - 3.4.1. Componentes de la membrana celular
  - 3.4.2. Mecanismos de absorción nutrimental
    - 3.4.2.1. Transporte pasivo
    - 3.4.2.2. Transporte activo (primario, secundario, transportadores de membrana)
  - 3.4.3. Factores que afectan la absorción nutrimental
    - 4.4.3.1. Endógenos (edad, especie, estado nutrimental)
    - 4.4.3.2. Exógenos (concentración, formas iónicas, Ph, sinergismos, antagonismos, temperatura, luz)
  - 3.4.4. Formas en que la raíz afecta a su medio
    - 3.4.4.1. Efecto sobre los gradientes nutrimentales de la solución del suelo
    - 3.4.4.2. Respiración

- 3.4.4.3. Exudación y secreción de sustancias orgánicas  
(fitosideróforos, aniones orgánicos, etc.)
- 3.4.4.4. Estimulación microbiológica
- 3.4.4.5. Efecto sobre el Ph

#### **UNIDAD IV. Transporte de nutrimentos y fotosintatos (4 h)**

**Objetivo:** Conocer las vías, mecanismos y fuerzas que operan en el transporte de minerales y fotosintatos, a fin de comprender cómo se mueven y distribuyen en el interior de la planta.

- 4.1. Xilema
  - 4.1.1. Estructura
  - 4.1.2. Mecanismos de transporte vía xilema
    - 4.1.2.1. Presión de raíz
    - 4.1.2.2. Transpiración
  - 4.1.3. Sustancias y nutrimentos transportados
- 4.2. Floema
  - 4.2.1. Estructura
  - 4.2.2. Mecanismos de transporte vía floema
    - 4.2.2.1. Relación fuente-demanda
    - 4.2.2.2. Distribución de nutrimentos y fotosintatos
  - 4.2.3. Sustancias y nutrimentos transportados
- 4.3. Transporte radial
- 4.4. Factores que afectan el transporte de nutrimentos y sustancias
  - 4.4.1. Estado nutrimental de la planta
  - 4.4.2. Temperatura

#### **UNIDAD V5. Funciones de los nutrimentos, síntomas de desbalances nutrimentales y fuentes externas de abastecimiento (11 h)**

**Objetivo:** Valorar la importancia y el papel que juega cada uno de los elementos esenciales en la fisiología de las plantas cultivadas para identificar la sintomatología que se hace manifiesta en la planta bajo situaciones de desbalances nutrimentales, así como discernir las diferentes alternativas de fuentes externas sobre el abastecimiento de los elementos y las formas de manejarlas.

- 5.1. Funciones bioquímicas
- 5.2. Funciones fisiológicas
- 5.3. Funciones ecológicas
- 5.4. Balance/Desbalance nutrimental

- 5.4.1. Síntomas de deficiencias nutrimentales
- 5.4.2. Síntomas de toxicidades nutrimentales
- 5.4.3. Antagonismos y sinergismos

## **UNIDAD VI. Métodos de diagnóstico Nutrimental (6 h)**

**Objetivo:** Conocer los métodos que permiten diagnosticar el estado nutrimental de los cultivos, sus ventajas y desventajas, para valorar su importancia en la aplicación de medidas preventivas o correctivas de índole nutrimental.

- 6.1 Técnicas de diagnóstico
  - 6.1.1 Visual
  - 6.1.2 Análisis químico (rangos críticos y niveles de suficiencia, relaciones nutrimentales)
  - 6.1.3 Muestreo de tejido vegetal
- 6.2 Curvas de extracción nutrimental
- 6.3 Análisis físico químico del suelo y/o sustrato

## **UNIDAD VII. Fertilización foliar (3.0 h)**

**Objetivo:** Conocer los principios, importancia y factores a considerar de la fertilización foliar como complemento o alternativa a la fertilización al suelo para garantizar la productividad sustentable de los cultivos.

- 7.1. Objetivos de la fertilización foliar
- 7.2. Ventajas y desventajas
- 7.3. Constitución anatómica de la hoja
- 7.4. Penetración a través de la cutícula
- 7.5. Penetración de diferentes sustancias
- 7.6. Factores que afectan la absorción foliar
  - 7.6.1. De la solución
  - 7.6.2. Del ambiente
  - 7.6.3. De la planta

## **PRÁCTICAS (24 h)**

- Práctica 1. Identificación y corrección de problemas nutrimentales en suelos ácidos.  
Objetivo: Identificar los síntomas de deficiencias y toxicidades nutrimentales en plantas que crecen en suelos ácidos, así como determinar la efectividad de diferentes tratamientos aplicados al suelo o planta para corregir

desórdenes nutrimentales. (6 h).

- Práctica 2 Identificación y corrección de problemas nutrimentales en suelos calcáreos.  
Objetivo: Identificar los síntomas de deficiencias y toxicidades nutrimentales en plantas que crecen en suelos calcáreos, así como determinar la efectividad de diferentes tratamientos aplicados al suelo o planta para corregir desórdenes nutrimentales. (6 h).
- Práctica 3 Identificación y corrección de problemas nutrimentales en suelos salinos.  
Objetivo: Canalizar los principales problemas nutrimentales en suelos salinos; así como como determinar la efectividad de diferentes tratamientos aplicados al suelo o planta para corregir desórdenes nutrimentales. (6 h).
- Práctica 4 Fertilización foliar de nutrimentos y sustancias orgánicas.  
Objetivo: Valorar la importancia de la fertilización foliar para la corrección oportuna de deficiencias nutrimentales. (2 h).
- Práctica 5 Elaboración de un programa de fertilización considerando el análisis químico de suelo, planta y agua.  
Objetivo: Identificar los diferentes factores que determinan la generación de fórmulas de fertilización en los cultivos agrícolas. (4 h).

## **VI. METODOLOGÍA**

El curso en su parte teórica se desarrolla en 16 semanas; dos sesiones a la semana de hora y medio cada una, mediante la exposición de los temas de cada unidad por parte del profesor, con la participación activa de los alumnos mediante análisis y discusión de los temas. La actividad del profesor se apoya con el uso del pizarrón, proyector multimedia, material didáctico impreso, artículos científicos y técnicos y libros. La parte práctica se desarrolla en campo, invernadero y laboratorio. El trabajo independiente del estudiante consiste en la realización de ejercicios prácticos relacionados con algún tema de nutrición, tareas y reportes de prácticas.

## **VII. EVALUACIÓN**

La evaluación se hará tanto en el aspecto teórico como práctico. Los aspectos a evaluar se indican a continuación:

Cuatro exámenes parciales	60 %
Examen 1: unidades I, II y III	15 %
Examen 2: unidades IV y V	15 %
Examen 3: unidades VI y VII	15 %



Examen 4: unidades VIII y IX 15 %

Prácticas (participación y entrega de reportes) 30 %

Trabajo independiente (tareas) y participación grupal en clase 10%

## VIII. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Alcántar, G. G., J. D. Etchevers, B. y A. Aguilar, S. 1992. Los Análisis Físicos y Químicos. Su aplicación en agronomía. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Baker, A.V., D.J. Pilbeam. 2007. Handbook of plant nutrition. CRC-Press-Taylor & Francis. Boca Raton, Florida.

Bennet, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. College of Agricultural Sciences and Natural resources. Texas Tech. University, Lubbock.

Brady, N. C., and Weil, R. R. 1999. The nature and properties of soils. Twelfth edition. Prentice Hall. New Jersey.

Castellanos, J. Z.; J. X. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª. Ed. Colección del Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA).

Epstein, E., and A. J. Bloom. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2<sup>nd</sup>. Edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers. USA.

Fageria, N. K.; V. C. Baligar, and Ch. A. Jones. 1991. Growth and mineral nutrition of field crops. Marcel Dekker, Inc. New York.

Farago, M. (ed.). 1994. Plants and the chemical elements. Biochemistry, uptake, tolerance and toxicity. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim. Germany.

Jones, J. J. B., B. Wolf, and H. A. Mills. 1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing Inc. Georgia.

Jones, J. J. B. 1998. Plant Nutrition, Manual. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A.

Jones, J. J. B. 2001. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press. Boca Raton, Florida. USA.

- Jones, J. J. B. 2003. Agronomic Handbook. Management of crops, soils, and their fertility. CRC Press. Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Marschner, H. 2005. Mineral nutrition of higher plants. (3<sup>nd</sup> Ed.). Academic Press. London, England.
- Mengel, M., and E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5<sup>th</sup> Ed. IIP. Bern Switzerland.
- Rengel, Z. 1999. Mineral Nutrition of Crops. Fundamental mechanisms and implications. Food Products Press. USA.
- Rodríguez, S. J., D. Pinochet T. y F. Matus B. 2001. Fertilización de los Cultivos. Santiago-Talca-Valdivia. Chile.
- Rodríguez, F. H. Y J. Rodríguez A. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. Ed. Trillas. México.
- Waisel, Y., A. Eshel, and U. Kafkafi. 1996. Plant Roots. The hidden half. Second Edition. Marcel Dekker, Inc. USA.
- Walsh, L. M., and J. D. Beaton. 1973. Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, Inc. USA.
- Westerman, R. L. (Ed.). 1990. Soil testing and plant analysis. Third Edition. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, U.S.A.
- Will, A. 1988. Soil conditions and plant growth. Logman Scientific Technical.
- Wolf, B. 1999. The fertile triangle. The interrelationship of air, water, and nutrients in maximizing soil productivity. Food Products Press. New York, U.S.A.

## **BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA**

Artículos seleccionados de las revistas siguientes:

Acta Horticulturae  
 Annual Review of Plant Physiology  
 Australian Journal of Experimental Agriculture  
 Commun. Soil Science and Plant Analysis  
 HortScience  
 HortTechnology  
 Journal of American Society for Horticultural Science  
 Journal of Horticultural Science

Journal of Plant Nutrition  
Physiologia Plantarum  
Plant and Soil  
Plant Physiology  
Scientia Horticulturae  
Terra  
Chapingo Serie Horticultura  
Fitotecnia Mexicana