



Programa sinóptico de la unidad curricular: **MORFOGÉNESIS VEGETAL**

Unidad Curricular: <b>Morfogénesis Vegetal</b>					Unidad Responsable: Dpto. de Biología				
Datos Unidad Curricular		Modalidad			Tipo Dedicación		Dedicación Total Unidad Curricular		
Código	Semestre	T	P	L	HTSP	HTSNP	CA	Total Horas por Semana (HS=CA X 3)	Total Horas por Semestre (HS X 16)
191413	9	4	0	0	4	0	4	12	192
Prelaciones: Haber aprobado el séptimo semestre, es decir 117 CA									

HSTP: Horas semanales de trabajo que se realiza en el aula o laboratorio y requiere preparación y trabajo adicional

HTSNP: Horas semanales que se realizan en el aula o laboratorio y no requieren de preparación o trabajo adicional

CA: créditos académicos

**Justificación**

Las plantas son la base de la existencia de la vida en nuestro planeta. Consideradas en el pasado como formas de vida sencillas, su estudio ha contribuido a comprender y aplicar conceptos básicos del funcionamiento de los genomas en el contexto de su manifestación visible más completa y compleja: el organismo. La unidad curricular Morfogénesis Vegetal, cuya temática se ocupa de la aparición de la forma y función durante el desarrollo de las plantas, permitirá al estudiante la integración de conocimientos adquiridos en unidades curriculares afines cursadas previamente. Esta integración abarcará desde el nivel molecular (incluyendo la genética, o base molecular de la plasticidad de la expresión de genes, la epigenética, la epigenómica, y la transferencia horizontal de genes) hasta el orgánico (incluyendo la hibridación y evolución de especies). Morfogénesis Vegetal pretende que los estudiantes relacionen conceptos aportados por las unidades curriculares Biología General, Botánica, Zoología, Ecología y Genética con los aspectos básicos y fundamentales del desarrollo *programado* de la función, estructura y forma de los diversos tejidos y órganos vegetales. Aunque la orientación del curso es fundamentalmente molecular a nivel de célula y tejido, se introducen conceptos que permiten entender la generación de la forma de la planta como individuo autónomo. Los efectos de la nutrición, otras formas de vida, el ambiente, las mutaciones, la acción hormonal y el silenciamiento genético serán tomados en cuenta para entender la modulación y regulación de la aparición de la forma y función de células especializadas, tejidos, órganos, e individuos.

Morfogénesis Vegetal capacitará a los estudiantes para el análisis lógico de las interacciones del genoma con el ambiente celular particular del embrión vegetal, y su posterior desarrollo luego de la germinación de la semilla. Este análisis les ayudará a comprender cómo la ejecución de un plan molecular inscrito en la información (proteínas y ácidos nucleicos) y en la arquitectura particular del núcleo, membranas y citoplasma originarios, le permiten al embrión vegetal, en concierto con respuestas a



estímulos externos, transformarse en un individuo maduro con formas celulares muy variadas que le confieren una identidad propia y con respuestas muy diversas que definen su plasticidad fenotípica. Finalmente, se introducen elementos necesarios para comprender la base genómica de las diferencias entre plantas y animales, así como las similitudes y diferencias en la adquisición de la forma.

### **Requerimientos**

A fin de obtener el máximo provecho de los descubrimientos más recientes en el campo de la biología del desarrollo de las plantas, se establece como prelación la unidad curricular Genética ya que las prelaciónes previas que llevan a la aprobación de ésta permiten presumir la aprobación de unidades curriculares fundamentales para comprender los fenómenos que en esta unidad curricular se introducen: Biología General, Botánica, Zoología, Bioquímica, Ecología y Genética. Es deseable que el estudiante del séptimo semestre, donde se cursa esta asignatura, muestre un dominio técnico del idioma inglés.

### **Objetivo General**

Analizar, comprender y aplicar a éste y otros sistemas los circuitos y componentes regulatorios genéticos y epigenéticos que ayudan a explicar la generación de la forma de la forma de vida planta.

### **Objetivos Específicos**

- Aprender los conceptos más modernos que explican la arquitectura y formas más representativas de las plantas y sus tejidos y células especializadas.
- Familiarizarse con los conceptos y técnicas básicas empleadas en la descripción de los genes y circuitos regulatorios que explican el origen de la forma/función en plantas.
- Poder leer, analizar y comprender literatura científica pertinente a los aspectos moleculares de la organización y expresión de genes responsables de la diferenciación, desarrollo, vías de señalización y acción hormonal en plantas.
- Ser capaces de relacionar los aspectos moleculares anteriores con información sobre las fuerzas externas del ambiente que permiten explicar la plasticidad de los tejidos, órganos y la forma/función de las plantas.
- Saber describir los tipos y secuencia de eventos moleculares, desde las células hasta los órganos, que determinan la diferenciación de los tejidos y la permanencia de la identidad de los individuos vegetales.
- Relacionar el origen de los diferentes tejidos con el de la planta adulta y autónoma, y relacionarlos con los eventos y circuitos regulatorios morfogenéticos en animales.



## **Contenido**

### **UNIDAD I: El genoma vegetal.**

#### **Tema 1: Introducción al curso: la planta y su forma**

Introducción a la noción de espacios de acción biológica (espacio de secuencia, espacio de forma/función y espacio de acción y distribución de los organismos). La arquitectura de la forma vegetal. Filogenia y planos estructurales del cuerpo vegetal. La evolución del concepto de morfogénesis en la botánica y la zoología. La morfogénesis en animales y su contribución al desarrollo del mismo concepto en plantas.

#### **Tema 2: Organización del genoma vegetal I: aspectos estructurales**

Membrana, poros y matriz nuclear, y nucleolo. Arquitectura del núcleo y organización espacial del genoma. Código de las histonas y herencia de la arquitectura y modificaciones covalentes de la cromatina que explican la identidad celular y su permanencia en el tiempo (epigenómica).

#### **Tema 3: Organización del genoma II: aspectos informacionales**

Genomas secuenciados y aspectos relevantes sobre la organización del genoma en plantas: genes simples, familias de genes, secuencias repetidas y elementos móviles, sintenia. Cambios en los mecanismos de la expresión genética durante el desarrollo. La evolución de los genomas de distintas especies incluyendo las duplicaciones que dieron origen a las angiospermas.

### **UNIDAD 2. La célula vegetal en el ámbito del desarrollo.**

#### **Tema 4: Revisión del plan básico de la célula vegetal**

Principales componentes celulares y su papel en la adquisición de la identidad: cambios en la pared, membrana y citoplasma (con énfasis en el citoesqueleto) y su influencia en los planos de división. Cambios en las organelas: núcleo, retículo endoplásmico liso y rugoso y ribosomas libres, vacuolas y tonoplasto, complejo de Golgi, dictiosomas y vesículas, plastidios (cloroplasto, amiloplasto, cromoplasto y otros), peroxisomas, mitocondrias y plasmodesmos. Continuidad sistémica de algunas estructuras celulares: de la célula al organismo (plasmalema y simplasma).

#### **Tema 5: La división celular y los ciclos de vida en plantas**

Eventos nucleares y eventos citoplásmicos durante la mitosis y la meiosis. Alargamiento celular: regulación y consecuencias. Las divisiones asimétricas y la adquisición de la identidad. Definición de división, crecimiento, diferenciación y desarrollo. Principales diferencias con las divisiones en células animales con especial énfasis en el papel de los centrosomas.

#### **Tema 6: El patrón general de la forma vegetal**

Los órganos y sus células. Polaridad, simetría y efectos de la división (linaje y posición). Ejemplos de tipos de célula vegetal de acuerdo a estos criterios. Papel de la actina y las tubulinas (citoesqueleto) en la adquisición y preservación de la identidad celular vegetal. Los planos de simetría en plantas y animales.

### **UNIDAD III. La Expresión genética y la morfogénesis vegetal.**

#### **Tema 7: Señales exógenas y endógenas que afectan los procesos morfogenéticos**



Reguladores de crecimiento y otras señales endógenas (oleadas de calcio y otros iones). Señales externas: luz, agua, iones, temperatura y otros organismos. El papel de los fenómenos epigenéticos por inducción endógena o exógena. Regulación de la acción hormonal por proteólisis (el proteosoma 26S y el código de las ubiquitinas).

**Tema 8: El plan general de la respuesta genética I**

Percepción de la señal y receptores específicos y generales, transducción de la señal y los factores generales y específicos de la regulación transcripcional. Transcripción y eventos post-transcripcionales. Papel de la vecindad y lejanía celulares.

**Tema 9: El plan general de la respuesta genética II**

Silenciamiento genético transcripcional y post-transcripcional. Dicer (CAF), Dicer-like y las proteínas Argonautas. Los microARNs y su procesamiento. Los mensajeros y proteínas que viajan fuera de la célula: el florígeno como ejemplo de la acción genética a distancia. La regulación en la toma de fosfato por microARNs: encuentro de la fisiología con la epigenética.

**Tema 10: Arquitectura y función de los genes involucrados en la morfogénesis**

Genes sencillos y genes complejos. Genes homeóticos (complejos Polycomb en plantas) y coordinación de la expresión conjunta de genes relacionados. Genes MADS y genes KNOX. La muerte celular programada y sus múltiples funciones en la morfogénesis vegetal. Cascadas de señalización y regulación genética transcripcional y post-transcripcional

**UNIDAD IV. Origen de los tejidos vegetales.**

**Tema 11: Morfogénesis del embrión**

Fertilización y formación del cigoto. Destino de las células sinérgidas, antípodas y origen del endospermo. Estructuras y formación de la semilla: origen, papel y destino de los diferentes tipos celulares. Efecto de las primeras divisiones en el embrión, la polaridad y la adquisición del cuerpo primario. Proembrión y suspensor: genes específicos, genes generales, comunicación y principales circuitos regulatorios. Papel del tejido materno y principales genes de acción embrionaria. Generación y cambio de las direcciones del flujo de auxina. El tejido meristemático y su organización.

**Tema 12: Morfogénesis de la raíz**

Caliptra, epidermis, endodermo, raíces secundarias y pelos radicales. Periciclo, cambium vascular y el tejido vascular en la raíz. Desarrollo de la forma/función adaptada al ambiente. El centro quiescente y los tejidos con identidad propia (células iniciales y células derivadas). El modelo de acción doble de las auxinas en la raíz: el entorno químico del centro quiescente y el modelo de fuente invertida de la acción de las auxinas.

**Tema 13: Morfogénesis del vástago**

Corteza y corcho, cutícula, epidermis, endodermo, endoendodermis y meristemas del tallo. Introducción a la morfogénesis del tejido vascular y los órganos laterales. Modificaciones del tallo y origen de los tallos modificados. Transporte informacional por el tejido vascular: transporte de ARNm y proteínas específicas (endógenos), microARNs



y virus (agente exógeno asimilado). Origen, desarrollo y mantenimiento de los tejidos xilemático y floemático. La unidad de forma/función del tejido vascular.

#### **Tema 14: Morfogénesis de la hoja**

El meristema apical del vástago. Desarrollo, origen y diferenciación de tejidos en la hoja: del primordio foliar a la hoja con células diferenciadas. Los estomas y el origen y desarrollo de las células que lo forman. Desarrollo, origen y diferenciación de tejidos en la hoja: parénquima esponjoso y en empalizada, colénquima y esclerénquima. Control genético de los tricomas, espinas y otras modificaciones. El tejido vascular en la hoja y las células de reserva. Las formas de y en las hojas: genes de frontera, genes adaxializantes y genes abaxializantes. Filotaxia.

#### **Tema 15: Morfogénesis de la flor**

Señales, genes y rutas que llevan al desarrollo del gametofito femenino y masculino. Transición floral: genes, señales y tipos florales. Modelo ABCD de la acción génica en la flor. Origen de pétalos, sépalos, cáliz y brácteas. Origen y desarrollo de las estructuras que definen la flor femenina. Origen y desarrollo de las estructuras que definen la flor masculina. Genética y epigenética del sexo en plantas.

#### **Tema 16: Morfogénesis del fruto, la semilla y de otras estructuras especializadas**

Hidátodos, nectaríferos, lenticelas y poros. Origen y desarrollo secuencial del fruto y sus diferentes tejidos. Estudio de un caso tipo: el tomate. La semilla: origen, formación y regulación genética. Integración de conceptos y definición de la morfogénesis vegetal.

### **Estrategias Metodológicas**

La estructura del curso está ampliamente influenciada por la acción de genes específicos que explican la generación de la función/forma en las plantas y sus células y tejidos. En este sentido, el instructor del curso hará amplio uso de material didáctico visual (fotos y películas) que permitan entender los conceptos que se expliquen en clases. Para complementar esta información, y hacer al estudiante participe de su propio proceso de aprendizaje, se asignarán artículos para seminarios y discusión en clases. Por otro lado, la experiencia indica que la asignación de una tarea de investigación documental que dura tanto como dura el curso, ha ayudado al estudiante a entender mejor la multitud de genes que participan en todos los procesos que llevan a la generación de la forma en las plantas. Este trabajo de investigación se ha denominado el "Libro de Genes". El "Libro de Genes" del estudiante contendrá el resumen de la descripción de genes vistos por clase, y que éstos redacten en un párrafo o página simple. El libro final no tendrá un máximo de páginas, pero estará escrito y será presentado en forma de libro en un archivo en formato PDF. Se pueden anexar figuras, fotos y esquemas. En la experiencia acumulada en los últimos 5 años, el Libro de Genes contiene la descripción de al menos 130 genes distintos. Finalmente, se ha hecho uso de un trabajo de integración final que en semestres distintos han recurrido a: presentación de un seminario final sobre los conocimientos presentes sobre la morfogénesis de plantas poco estudiadas (para evitar repetir lo que se conoce sobre



organismos modelo), la presentación de un póster que resuma el papel que juega un gen “favorito” del estudiante en algún proceso morfogénico en plantas, así como los genes que lo regulan y/o los genes que regula, de ser el caso, o la propuesta de un trabajo de investigación en morfogénesis o de una propuesta de práctica docente relativa a algún tema del programa del curso.

### **Estrategias de Evaluación**

Se persigue evaluar cada una de las actividades señaladas anteriormente, para lo cual se propone lo que a continuación se señala:

Tres Seminarios (10% c/u)	30%
Libro de Genes	40%
Examen de integración	20%
Discusión de artículos	10%

### **Bibliografía**

- Barthelemy, D., & Y. Caraglio. 2007. Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany* 99: 375-407.
- Barton, M. K. 2009. Twenty years on: the inner workings of the shoot apical meristem, a developmental dynamo. *Developmental Biology* doi:10.1016/j.ydbio.2009.11.029.
- Beck, C. 2009. An introduction to plant structure and development: plant anatomy for the twenty-first century. Cambridge University Press.
- Buchanan, B., W. Gruissem, & R. Jones, Eds. 2002. Biochemistry and molecular biology of plants. John Wiley & Sons.
- Carraro, N., A. Peaucelle, P. Laufs, & J. Traas. 2006. Cell differentiation and organ initiation at the shoot apical meristem. *Plant Molecular Biology* 60: 811-826.
- Carroll, S. B. 2005. Evolution at two levels: on genes and form. *PLoS Biology* 3: 1159-1166.
- Chehab, E. W., E. Eich, & J. Braam. 2009. Thigmomorphogenesis: a complex plant response to mechano-stimulation. *Journal of Experimental Botany* 60: 43-46.
- Dettmer, J., A. Elo, & Y. Helariutta. 2009. Hormone interactions during vascular development. *Plant Molecular Biology* 69: 347-360.
- Dodsworth, S. 2009. A diverse and intricate signaling network regulates stem cell fate in the shoot apical meristem. *Developmental Biology* 336: 1-9
- Domínguez, E., G. López-Casado, J. Cuartero, & A. Heredia. 2008. Development of fruit cuticle in cherry tomato (*Solanum lycopersicum*). *Functional Plant Biology* 35: 403-411.
- Druka, A., G. Muehlbauer, I. Druka, R. Caldo, U. Baumann, N. Rostoks, A. Schreiber, R. Wise, T. Close, A. Kleinhofs, A. Graner, A. Schulman, P. Langridge, K. Sato, P. Hayes, J. McNicol, D. Marshall, & R. Waugh. 2006. An atlas of gene expression from seed to seed through barley development. *Functional and Integrative Genomics* 6: 202-211.
- Eichten, S. R., R. J. Schmitz & N. M. Springer. 2014. Epigenetics: beyond chromatin modifications and complex genetic regulation. *Plant Physiology* 165:933-947.



- Guimil, S. & C. Dunand. 2007. Cell growth and differentiation in *Arabidopsis* epidermal cells. *Journal of Experimental Botany* 58: 3829-3840.
- Hamant, O., & J. Traas. 2010. Tansley review: the mechanics behind plant development. *The New Phytologist* 185: 369-385.
- Howell, S. H. 1998. Molecular genetics of plant development. Cambridge University Press.
- Husbands, A. Y., D. H. Chitwood, Y. Plavskin, & M. C. P. Timmermans. 2009. Signals and prepatterns: new insights into organ polarity in plants. *Genes & Development* 23: 1986-1997.
- Jiang, K., & L. J. Feldman. 2005. Regulation of root apical meristem development. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* 21: 485-509.
- Kepinski, S. 2006. Integrating hormone signaling and patterning mechanisms in plant development. *Current Opinion in Plant Biology* 9: 28-34.
- Kuhlemeier, C. 2007. Phyllotaxis. *TRENDS in Plant Science* 12: 143-150.
- Mason, M. G., J. J. Ross, B. A. Babst, B. N. Wienclaw & C. A. 2013 Beveridge. Sugar demand, not auxin, is the initial regulator of apical dominance. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111:6092-6097.
- Mathur, J. 2006. Local interactions shape plant cells. *Current Opinion in Cell Biology* 18: 40-46
- Möller, B., & D. Weijers. 2009. Auxin control of embryo patterning. *Cold Spring Harbor Perspectives* 1:a001545.
- Nemhauser, J. L. 2008. Dawning of a new era: photomorphogenesis as an integrated molecular network. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 4-8.
- Pillitteri, L. J., D. B. Sloam, N. L. Bogenschutz, & K. U. Torii. 2007. Termination of asymmetric cell division and differentiation of stomata. *Nature* 445: 501-505.
- Rogers, K. & X. Chen. 2013. Biogenesis, turnover, and mode of action of plant microRNAs. *The Plant Cell* 25:2383-2399.
- Rudall, P. 2007. Anatomy of flowering plants: an introduction to structure and development. Cambridge University Press.
- Sieburth, L. E., & M. K. Deyholos. 2006. Vascular development: the long and winding road. *Current Opinion in Plant Biology* 9: 48-54.
- Sun, B., & Xu, & K.-H. Ng. 2009. A timing mechanism for stem cell maintenance and differentiation in the *Arabidopsis* floral meristem. *Genes & Development* 23: 1791-1804.
- Wayne, R. 2009. Plant cell biology: from astronomy to zoology. Elsevier Science and technology books.