

## COLEGIO DE POSTGRADUADOS

PROGRAMA DE POSTGRADO: MANEJO SOSTENIBLE DE RECURSOS FITOGENÉTICOS

CURSO: FITOMEJORAMIENTO MOLECULAR

PROFESOR TITULAR: Dr. Amalio Santacruz Varela

COLABORADOR(ES):

CORREO ELECTRÓNICO: [asvarela@colpos.mx](mailto:asvarela@colpos.mx)

TELÉFONO: 5959520200, Ext. 1570

EDIFICIO/PLANTA/NÚMERO Oficina 129, Planta Baja del Edificio de Genética José D. Molina Galán, Montecillo, Texcoco, Estado de México

CLAVE DEL CURSO MRF-707

PRE-REQUISITOS Cursos básicos de biología reproductiva, elementos de genética general y métodos clásicos de mejoramiento genético

TIPO DE CURSO:

- Teórico  
 Práctico  
 Teórico-Práctico

PERIODO:

- Primavera  
 Verano  
 Otoño  
 No aplica

SE IMPARTE A :

- Maestría en Ciencias  
 Doctorado en Ciencias  
 Maestría Tecnológica

MODALIDAD:

- Presencial  
 No presencial  
 Mixto

HORAS CLASE:

CREDITOS: 3

Presenciales	<u>48</u>
Extra clase	<u>144</u>
Total	<u>192</u>

Nota: Un crédito equivale a 64 horas totales (presenciales y extra clase)



## INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN

Desde mediados del Siglo XX, con el descubrimiento de la estructura molecular del ADN, los avances en la biología y genética molecular se han venido presentando a un ritmo acelerado; a principios de la década de los 1970s se postuló por parte de Francis Crick el llamado Dogma Central de la Biología Molecular, que significó un parteaguas para comprender los fenómenos de la herencia y sus bases a nivel de átomos y moléculas.

En la década de los 1980s se establecieron las primeras metodologías de marcadores moleculares de ADN y fue posible secuenciar fragmentos de genomas de los organismos; así mismo, se produjeron por primera vez de manera artificial los primeros organismos transgénicos en plantas y animales, lo que supuso transformaciones de fondo para el análisis genético de las especies agrícolas y el surgimiento de técnicas cuyo propósito fue hacer más eficientes los procesos de conservación de germoplasma y el aprovechamiento de los recursos genéticos; surgió así una diversidad muy amplia de metodologías de marcadores moleculares y de estrategias para su uso directo en metodologías de mejoramiento genético asistido de las especies de interés antropocéntrico.

Hoy en día no es posible sustraerse de los avances tecnológicos arriba mencionados, por lo que a nivel de postgrado en programas relacionados con el área agrícola es indispensable involucrar a los estudiantes en este tipo de avances científico-tecnológicos buscando imprimir eficiencia en el estudio, conservación y aprovechamiento de la diversidad genética, como uno de los pilares de los sistemas agrícolas y de sustento de los campesinos que los conservan y los aprovechan.

Esta materia se visualiza como una herramienta auxiliar para hacer más eficiente el estudio y aprovechamiento de los recursos de los agroecosistemas, bajo la filosofía de que la principal fortaleza del nuevo enfoque es la riqueza genética de las poblaciones de plantas y animales en las que se basa la agricultura de pequeña escala, y que el énfasis en esta etapa de desarrollo del país debe ser hacia un aprovechamiento más práctico que teórico. Si existiese interés particular por parte de algunos estudiantes para profundizar en temas de naturaleza molecular, se podrían utilizar otras alternativas contempladas en la estructura educativa institucional, como los problemas especiales o cursos de otros programas de postgrado de la institución que profundicen en la temática molecular.

---

### OBJETIVO GENERAL

Que el estudiante conozca los fundamentos y el uso de herramientas moleculares y biotecnológicas en el mejoramiento genético de los cultivos; así mismo, que el estudiante adquiera un juicio crítico sobre los alcances reales de este tipo de tecnologías y sus limitaciones desde una perspectiva de agricultura sostenible basada

---



en el aprovechamiento de la diversidad genética que México posee como centro de origen de plantas cultivadas.

## TEMAS Y SUBTEMAS

HORAS ESTIMADAS	TEMAS Y SUBTEMAS	OBJETIVOS DE LOS TEMAS
3	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Principios del mejoramiento genético y técnicas moleculares<ol style="list-style-type: none"><li>1.1. El ADN como material hereditario y su estructura y empaquetamiento</li><li>1.2. Concepto y estructura de los genomas</li><li>1.3. El gen como unidad discreta de la herencia</li><li>1.4. Dogma central de la biología molecular</li><li>1.5. Tipos de acción génica</li><li>1.6. Valores genéticos aditivos, desviaciones de dominancia y efectos epistáticos</li></ol></li></ol>	Introducir al estudiante a los conceptos modernos de la biología celular y genética molecular como soporte para el mejoramiento genético biotecnológico
6	<ol style="list-style-type: none"><li>2. Marcadores bioquímicos y moleculares: principios, características, potencialidades y limitaciones<ol style="list-style-type: none"><li>2.1. Isoenzimas</li><li>2.2. Proteínas de almacenamiento</li><li>2.3. Marcadores de ADN<ol style="list-style-type: none"><li>2.3.1. RFLPs</li><li>2.3.2. RAPDs</li><li>2.3.3. SSRs</li><li>2.3.4. ISSRs</li><li>2.3.5. AFLPs</li><li>2.3.6. SNPs</li><li>2.3.7. GBS (Genotipo por secuenciación)</li></ol></li></ol></li></ol>	Analizar los principales tipos de marcadores genéticos basados en proteínas y ADN, su aplicación, alcances y limitaciones en el área del mejoramiento genético de plantas



<b>3</b>	<b>3. Análisis de QTLs</b> 3.1. El concepto de QTL 3.2. Desequilibrio de ligamiento 3.3. Poblaciones de mapeo y procedimientos para el análisis 3.4. Disección genética de caracteres cuantitativos 3.4.1. Número de loci involucrados 3.4.2. Localización genómica (mapeo) 3.4.3. Tipo de acción génica de los loci individuales	Estudiar la disección genética de los caracteres agronómicos complejos en los cultivos por medio de marcadores moleculares y su aplicación para potenciar el uso de los mismos
<b>4.5</b>	<b>4. Selección asistida por marcadores</b> 4.1. Concepto general y supuestos en que se basa 4.2. Eficiencia relativa con respecto a la selección convencional 4.3. Ejemplos reales de aplicación en diferentes cultivos	Analizar el empleo de los marcadores moleculares como una estrategia para acelerar los programas tradicionales de selección recurrente
<b>3</b>	<b>5. Retrocruza asistida por marcadores</b> 5.1. Concepto y principios generales 5.2. Eficiencia relativa con respecto a la retrocruza convencional 5.3. Ejemplos reales de aplicación en diferentes cultivos	Estudiar la aplicación de los marcadores moleculares para una recuperación más rápida y eficiente de los genomas de los parentales recurrentes en la introducción de genes favorables mediante esquemas de mejoramiento por retrocruzas
<b>3</b>	<b>6. Hibridación asistida por marcadores</b> 6.1. El concepto de heterosis y su relación con la divergencia genética 6.2. Distancias genéticas y su estimación con marcadores moleculares 6.3. La eficiencia de los marcadores en relación con las pruebas de aptitud combinatoria	Optimizar el aprovechamiento de la heterosis en plantas cultivadas involucrando a los marcadores moleculares como herramienta complementaria a las



		pruebas tradicionales de aptitud combinatoria
<b>3</b>	7. Dobles haploides en mejoramiento genético 7.1. La línea pura y su papel en fitomejoramiento 7.2. En concepto de dobles haploides 7.2. Métodos de obtención de dobles haploides 7.3. Pedigrí tradicional vs. dobles haploides: ventajas y desventajas	Analizar el método de obtención de dobles haploides por medio de inductores como alternativa para alcanzar de manera acelerada homocigosis absoluta en la formación de líneas endogámicas
<b>9</b>	8. Organismos genéticamente modificados 8.1. Conceptos generales: transgénicos, cisgénicos, intragénicos 8.2. Antecedentes y técnicas de inserción de genes 8.2. El uso de transgénicos a nivel comercial en México y el mundo 8.3. Estudio de caso: tecnología "Terminator" 8.4. Estudio de caso: transgénicos para resistencia a sequía	Realizar un análisis integral y multifacético sobre el uso de los transgénicos como herramienta biotecnológica de mejoramiento genético de plantas cultivadas a diferentes niveles de aproximación
<b>6</b>	9. Técnicas de ARN de interferencia 9.1. Los micro ARNs: concepto, localización genómica y prevalencia 9.2. El papel y modo de acción de los microARNs en la expresión génica 9.3. Silenciamiento de genes no deseables por ARN de interferencia 9.4. Ejemplos ilustrativos	Introducir al estudiante al estudio de los microARNs, su papel en la expresión génica y su aplicación en silenciamiento de genes no deseables
<b>7.5</b>	10. Edición genómica 10.1. Los mecanismos celulares de reparación del ADN 10.2. Recombinación genética dirigida 10.2. Modificación directa de la secuencia de nucleótidos de genes de interés (CRISPR/Cas9 y otras técnicas)	Introducir al estudiante las bases teóricas para el uso de técnicas de edición genómica como estrategia de mejoramiento genético por manipulación directa de las



	10.3. Ejemplos ilustrativos	secuencias de ADN de genes de interés
--	-----------------------------	---------------------------------------

## METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

Clases presenciales y a distancia, revisión bibliográfica de los avances más recientes en los fundamentos de biología molecular y su aplicación en el mejoramiento genético y en la conservación de los recursos fitogenéticos; se contempla una participación dinámica de los estudiantes exponiendo vivencias e inquietudes en el tema del curso. Visita a un laboratorio equipado con instrumentos de vanguardia para análisis genéticos-moleculares.

---

## LISTA DE PRÁCTICAS

---

No se contemplan prácticas

---

## RECURSOS DIDÁCTICOS

---

- Exposiciones tipo conferencias.
  - Discusiones y lluvias de ideas sobre temas controversiales del uso de la biotecnología en los sistemas agrícolas del país.
  - Investigación documental y revisión de bibliografías clásicas y representativas de los temas.
  - Visita a laboratorios establecidos de biología molecular y recursos fitogenéticos.
  - Uso de videos breves sobre temas y metodologías de actualidad.
-



---

## NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN

---

Exámenes (3):	75%
Tareas y lecturas extraclase:	15%
Reportes de visitas a laboratorios:	10%

Los exámenes serán parciales y abarcará cada uno aproximadamente una tercera parte del contenido temático del curso.

---

## BIBLIOGRAFÍA IMPRESA O ELECTRÓNICA (AUTOR, AÑO, TÍTULO, REVISTA O EDITORIAL, PÁGINAS)

---

- **Principios del mejoramiento genético y técnicas moleculares**

1. Cherif A., M. Roze, F. Movahedzadeh (2015) The winding road to discovering the link between genetic material and DNA. *Journal of Education and Practice* 6: 132-143.
2. Fogle T. (1990) Are genes units of inheritance?. *Biology and Philosophy* 5: 349-371. <https://doi.org/10.1007/BF00165258>
3. Molina G. J. D. (1992) Introducción a la Genética Cuantitativa y de Poblaciones. Algunas Implicaciones en Genotecnia. AGT Editor. México, D. F. 349 p.
4. Watson J. D., T. A. Baker, S. P. Bell, A. Gann, M. Levine, R. Losick and S. C. Harrison (2014) *Molecular Biology of the Gen*. Seventh edition. Cold spring Harbor Laboratory Press. Cold spring Harbor, New York. 871 p.
5. Xu Y. (2010) *Molecular Plant Breeding*. CAB International. Wallingford, UK. 734 p.

- **Marcadores bioquímicos y moleculares: principios, características, potencialidades y limitaciones**

6. Bretting P. K. and M. P. Widrechner (1995) Genetic markers and plant genetic resource management. *Plant Breeding Reviews* 13:11-86.
7. Al-Samarai F. R. and A. A. Al-Kazaz (2015) Molecular markers: an introduction and applications. *European Journal of Molecular Biotechnology* 9: 118-130. <https://doi.org/10.13187/ejmb.2015.9.118>
8. Nadeem M. A., M. A. Nawaz, M. Q. Shahid, Y. Doğand, G. Comertpay, M. Yıldız, R. Hatipoğlu, F. Ahmad, A. Alsaleh, N. Labhane, H. Özkan, G. Chung and F. S. Baloch (2018) DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 32:261-285. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1400401>



9. Salgotra R. K., and C. N. Stewart Jr. (2020). Functional markers for precision plant breeding. *International Journal of Molecular Sciences* 21: 4792.  
<https://doi.org/10.3390/ijms21134792>

- **Análisis de QTLs**

10. Collard B. C. Y., M. Z. Z. Jahufer, J. B. Brouwer and E. C. K. Pang (2005) An introduction to markers, quantitative trait loci (QTL) mapping and marker-assisted selection for crop improvement: The basic concepts. *Euphytica* 142: 169-196.  
<https://doi.org/10.1007/s10681-005-1681-5>  
Edwards M. D., C. W. Stuber and J. F. Wendel (1987) Molecular-marker-facilitated investigations of quantitative-trait loci in maize. I. Numbers, genomic distribution and types of gene action. *Genetics* 116: 113-125.
11. Kearsley M. J. and A. G. L. Farquhar (1998) QTL analysis in plants; Where are we now? *Heredity* 80: 137-142. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.1998.00500.x>
12. Jamil M., A. Ali, K. F. Akbar, A. A. Napar, A. Gul and A. Mujeeb-Kazi (2016) QTL analysis in plants: ancient and modern perspectives. *In: Plant Omics: Trends and Applications*. K. Hakeem, H. Tombuloğlu and G. Tombuloğlu (eds.). Springer. Cham, Switzerland.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-31703-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31703-8_3)

- **Selección asistida por marcadores**

13. Jiang, G. L. (2013) Molecular markers and marker-assisted breeding in plants. *In: Plant Breeding from Laboratories to Fields*. S. B. Andersen (ed.). InTech Open. London, UK. pp: 45-83. <https://doi.org/10.5772/52583>
14. Shashidhar H. E., A. Kanbar, M. Toorchi, G. M. Raveendra, P. Kundur, H. S. Vimarsha, R. Soman, N. G. Kumar, B. B. D. Bekele and P. Bhavani (2013) Breeding for drought resistance using whole plant architecture — conventional and molecular approach. *In: Plant Breeding from Laboratories to Fields*. S. B. Andersen (ed.). InTech Open. London, UK. pp: 45-83. <https://doi.org/10.5772/54983>
15. Guimarães E. P., J. Ruane, B. D. Scherf, A. Sonnino and J. D. Dargie (2007) Marker-Assisted Selection. Current Status and Future Perspectives in Crops, Livestock, Forestry and Fish. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 471 p.
16. ISAAA, International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications (2006) Molecular Breeding and Marker-Assisted Selection. Pocket K No. 19. International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications. Manila, Philippines. 5 p.





- **Retrocruza asistida por marcadores**

17. Hasan M. M., M. Y. Rafii, M. R. Ismail, M. Mahmood, H. A. Rahim, A. Alam, S. Ashkani, A. Malek and M. A. Latif (2015) Marker-assisted backcrossing: a useful method for rice improvement. *Biotechnology Biotechnological Equipment* 29: 237-254.  
<https://doi.org/10.1080/13102818.2014.995920>
18. Frisch M. and A. E. Melchinger (2005) Selection theory for marker-assisted backcrossing. *Genetics* 170: 909-917. <https://doi.org/10.1534/genetics.104.035451>
19. Xu Y., X. Q. Zhang, S. Harasymow, S. Westcott, W. Zhang and C. (2018). Molecular marker-assisted backcrossing breeding: an example to transfer a thermostable  $\beta$ -amylase gene from wild barley. *Molecular Breeding* 38: 63.  
<https://doi.org/10.1007/s11032-018-0828-8>

- **Hibridación asistida por marcadores**

20. Zavala Pliego C. (2014) Predicción del rendimiento y comportamiento agronómico de cruza simples de maíz con auxilio de marcadores moleculares. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 52 p.
21. Mohammadi S. A, B. M. Prasanna, C. Sudan and N. N. Singh (2008) SSR heterogenic patterns of maize parental lines and prediction of hybrid performance. *Biotechnology and Biotechnological Equipment* 22:541-547.  
<https://doi.org/10.1080/13102818.2008.10817508>
22. Schrag T. A., J. Möhring, A. E. Melchinger, B. Kusterer, B. S. Dhillon, H. P. Piepho and M. Frisch (2010) Prediction of hybrid performance in maize using molecular markers and joint analyses of hybrids and parental inbreds. *Theoretical and Applied Genetics* 120: 451-461. <https://doi.org/10.1007/s00122-009-1208-x>
23. Oliboni R., M. V. Faria, M. Neumann, G. M. Battistelli, R. G. Tegoni and J. T. V. Resende (2012) Genetic divergence among maize hybrids and correlations with heterosis and combining ability. *Acta Scientiarum Agronomy* 34:37-44,  
<https://doi.org/10.1590/S1807-86212012000100006>
24. Tomkowiak A., J. Bocianowski, M. Kwiatek and P. L. Kowalczewski (2020) Dependence of the heterosis effect on genetic distance, determined using various molecular markers. *Open Life Sciences* 15:1-11. <https://doi.org/10.1515/biol-2020-0001>

- **Dobles haploides en mejoramiento genético**

25. Prasanna B. M., V. Chaikam and G. Mahuku (2012) Doubled Haploid Technology in Maize Breeding: Theory and Practice. International Maize and Wheat Improvement Center. Mexico City. 50 p.



26. Chang M. T. and E. H. Coe (2009) Doubled Haploids. *In: Molecular Genetic Approaches to Maize Improvement. Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 63.* A. L. Kriz, and B. A. Larkins (eds.). Springer. Berlin, Heidelberg, Germany. pp: 127-142.

[https://doi.org/10.1007/978-3-540-68922-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68922-5_10)

27. Forster B. P. and W. T. B. Thomas (2005) Doubled haploids in genetics and plant breeding. *Plant Breeding Reviews* 25: 57-88. <https://doi.org/10.1002/9780470650301>

28. Tuveson S., C. Dayteg, P. Hagberg, O. Manninen, P. Tanhuanpa, T.a Tenhola-Roininen, E. Kiviharju J. Weyen, J. Förster, J. Schondelmaier, J. Lafferty, M. Marn and A. Fleck (2007) Molecular markers and doubled haploids in European plant breeding programmes. *Euphytica* 158: 305-312. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9239-8>

- **Organismos genéticamente modificados**

29. Apoteker A. (2003) *Introducción a los Organismos Genéticamente Modificados. Segunda edición.* Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano. Ciudad de México. 40 p.

30. Khachatourians G. G., A. McHughen, R. Scorza, W.-K. Nip and Y. H. Hui (2002) *Transgenic Plants and Crops.* Marcel Dekker, Inc. New York.

31. Sánchez V. D. (2017) *Treinta años de transgénicos en México (Compendio Cartográfico).* Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano. Ciudad de México. 40 p.

32. The Royal Society (2016) *GM Plants: Questions and Answers.* John Innes Centre. Norwich, UK. 38 p.

33. Gurian-Sherman D. (2009) *Failure to Yield. Evaluating the Performance of Genetically Engineered Crops.* Union of Concerned Scientists. Cambridge, Massachusetts, USA. 43 p.

34. Sanderson C. J. (2007) *Understanding Genes and GMOs.* World Scientific Publishing. Singapore. 344 p.

35. Yousuf N., S. A. Dar, S. Gulzar, S. U. Nabi, S. Mukhtar and R. A. Lone (2019) Terminator technology: Perception and concerns for seed industry. *International Journal of Pure and Applied Biosciences* 5: 893-900.

36. Ohlgart S. M. (2002) The terminator gene: intellectual property rights vs. the farmers' common law right to save seed. *Drake Journal of Agricultural Law* 7: 473-492.

- **ARN de interferencia**

37. Agrawal N., P. V. N. Dasaradhi, A. Mohmmed, P. Malhotra, R. K. Bhatnagar and S. K. Mukherjee (2003) RNA Interference: Biology, Mechanism, and Applications. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 67(4): 657-685.

<https://doi.org/10.1128/MMBR.67.4.657-685.2003>



38. Baulcombe D. (2004) RNA silencing in plants. *Nature* 431:356-363.  
<https://doi.org/10.1038/418244a>
39. Invitrogen (2019) RNAi Handbook. Thermo Fisher Scientific. Waltham, Massachusetts, USA. 160 p.
40. Manavella P. A., S. W. Yang, and J. Palatnik (2019) Keep calm and carry on: miRNA biogenesis under stress. *The Plant Journal* 2019: 1-12.  
<http://doi.org/10.1111/tpj.14369>
41. Yang J., G. Xing, L. Niu, H. He, D. Guo, Q. Du, X. Qian, Y. Yao, H. Li, X. Zhong and X. Yang (2018) Improved oil quality in transgenic soybean seeds by RNAi mediated knockdown of *GmFAD2-1B*. *Transgenic Research* 27(2):155-166. <https://doi.org/10.1007/s11248-018-0063-4>

- **Edición genómica**

42. The Royal Swedish Academy of Sciences (2020) A tool for genome editing. Scientific background on the Nobel Prize in Chemistry 2020. The Nobel Foundation. Stockholm, Sweden. 13 p.
43. ABM (2019) CRISPR Cas9. An Introductory Guide for Gene Knockout. Applied Biological Materials Inc. Richmond, British Columbia, Canada. 39 p.
44. ISAAA, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (2017) Plant Breeding Innovation: CRISPR-Cas9. Pocket K No. 54 Plant Breeding Innovation. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. Los Baños, Philippines. 7 p.
45. Sánchez-León S., J. Gil-Humanes, C. V. Ozuna, M. J. Giménez, C. Sousa, D. F. Voytas and F. Barro (2018) Low-gluten, nontransgenic wheat engineered with CRISPR/Cas9. *Plant Biotechnol Journal* 16(4): 902-910. <https://doi.org/10.1111/pbi.12837>
46. McCormick S. (2018) Red fruit, orange fruit, orange fruit, red fruit: genome editing in tomato. *The Plant Journal* 95: 3-4. <https://doi.org/10.1111/tpj.13967>