

PROGRAMA DE POSTGRADO: Hidrociencias  
 CURSO: Evapotranspiración  
 PROFESOR TITULAR: Leonardo Tijerina Chávez X00436  
 COLABORADOR (ES): \_\_\_\_\_  
 CORREO ELECTRÓNICO: tijerina@colpos.mx  
 TELÉFONO: (595)95 20200 EDIFICIO/PLANTA/NÚMERO Edafología- Hidrociencias, Planta baja N° 131  
 Ext. 1150  
 CLAVE DEL CURSO: HID-603 PRE-REQUISITOS: Física, Agrometeorología

TIPO DE CURSO: PERIODO:  
 Teórico  Primavera  
 Práctico  Verano  
 Teórico-Práctico  Otoño  
 No aplica

SE IMPARTE A : MODALIDAD:  
 Maestría en Ciencias  Presencial  
 Doctorado en Ciencias  No presencial  
 Maestría Tecnológica  Mixto

HORAS CLASE: HORAS DE PRACTICA: \_\_\_\_\_  
 Presenciales 48  
 Extra clase 144  
 Total 192

“CREDITOS TOTALES: 3 (tres)”

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

**OBJETIVO GENERAL DEL CURSO**

El objetivo de este curso es dar a conocer a los alumnos los procesos de transferencia de energía entre la superficie del suelo y la vegetación con la atmósfera cercana al mismo. Los flujos que se estudiarán principalmente son el flujo de radiación, el flujo de calor sensible, el flujo de calor del suelo, la humedad atmosférica, la velocidad del viento y el flujo de calor latente de evaporación. Hacer el análisis de algunos modelos aerodinámicos, y de balance de energía, combinados y de correlación turbulenta para estimar la evapotranspiración en tiempo real.

HORAS ESTIMADAS	TEMAS Y SUBTEMAS	OBJETIVOS DE LOS TEMAS
-----------------	------------------	------------------------

1 HORA	1. INTRODUCCION AL CURSO	<p>Introducción</p> <p>Destacar la importancia de la evapotranspiración (ET) en el contexto del ciclo hidrológico, analizar los factores del clima y el suelo y la planta de los cuales depende la ET : Estudiar la evapotranspiración como un proceso de transferencia de calor latente de evaporación entre la superficie del suelo y la atmósfera cercana al suelo</p>
6 HORAS	<p>2. RADIACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Física de la radiación</li> <li>• Cuantificación de los efectos de la energía solar que llega a la superficie de la tierra</li> <li>• Efectos cualitativos de la energía solar que llega a la superficie de la tierra</li> <li>• Radiación difusa</li> <li>• Albedo o reflexión de onda corta.</li> <li>• Radiación térmica e intercambio de radiación de onda larga</li> <li>• Radiación neta</li> <li>• Relación entre la radiación neta y la radiación solar</li> <li>• Penetración de la luz dentro de coberturas vegetales y cuerpos de agua</li> <li>• Instrumentación para medir radiación de diferentes longitudes de onda.</li> </ul>	<p>Estudiar el balance de radiación, las leyes físicas de la radiación, estudiar los aspectos astronómicos y de la atmósfera que determinan la cantidad de radiación que llega a la superficie de la tierra el efecto de la atmósfera sobre la radiación, estudiar el balance de energía a nivel local, regional y planetario, aprovechamiento de la radiación por las plantas a nivel dosel y mostrar el equipo más usual para medir la radiación incidente y reflejada tanto de onda corta como de onda larga.</p>
4 HORAS	<p>3. FLUJO DE CALOR DEL SUELO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leyes de conducción de calor y propiedades térmicas de los suelos</li> <li>• Penetración del calor dentro del suelo</li> <li>• Patrones diarios y estacionales de la temperatura del suelo</li> <li>• Perfiles de temperatura del suelo</li> <li>• Influencia de la textura sobre el</li> <li>• flujo de calor del suelo y temperatura</li> </ul>	<p>Enseñar que el suelo constituye un importante almacenamiento de energía recibida del sol. Mostrar las leyes físicas que determinan el flujo de calor por conducción y almacenamiento. El flujo de calor del suelo participa en el intercambio de energía entre</p>

4 HORAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calor y respiración del suelo</li> <li>• Instrumentación</li> </ul> <p>4. MODIFICACIÓN DEL REGIMEN DE TEMPERATURA DEL SUELO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendiente y aspecto</li> <li>• Uso de coberturas orgánicas e inorgánicas Calentamiento artificial del suelo</li> <li>• Riego con agua caliente o fría</li> </ul>	<p>el suelo y la atmósfera en contacto con la superficie del suelo. Enseñar algunas leyes físicas para entender el flujo de calor del suelo así como las propiedades físicas del suelo que determinan la rapidez de calentamiento y enfriamiento del mismo, hacer énfasis de la temperatura del suelo en el proceso de germinación y crecimiento de las plantas.</p> <p>Mostrar que el régimen de temperatura del suelo es posible alterarlo o cambiarlo. Enseñar que el hombre con sus técnicas de labranza, o el ingeniero que construye estructuras sobre la superficie del suelo afecta por estas acciones el flujo de calor y la temperatura del suelo y del aire. Enseñar que cuando cualquier elemento del microambiente es alterado otros elementos cambian también.</p>
6 HORAS	<p>5. FLUJO DE CALOR SENSIBLE</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convección libre y forzada</li> <li>• La capa sub-laminar</li> <li>• Transporte de calor desde la superficie del suelo a la atmósfera en contacto con él.</li> <li>• Transporte de calor sensible arriba de la capa sub-laminar</li> <li>• Transporte de calor desde pequeños objetos y hojas de las plantas</li> <li>• Perfiles teóricos de temperatura</li> <li>• El concepto de la estabilidad térmica</li> <li>• La caída adiabática húmeda</li> </ul>	<p>Enseñar que grandes cantidades de energía son transferidas entre la superficie del suelo y el aire por el proceso de convección. Estudiar el proceso de convección que resulta del movimiento en masa del aire, resultando en un transporte y mezclado de las propiedades del aire. Enseñar que el flujo de calor entre la superficie y el aire como flujo de calor sensible porque es esta transferencia que determina la temperatura</p>

6 HORAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfiles de temperatura arriba de superficies naturales</li> <li>• Perfiles de temperatura en el dosel de las plantas</li> <li>• Onda de temperatura diaria y anual</li> <li>• Patrones de temperatura influenciados por la elevación</li> <li>• Instrumentación para medir la temperatura del aire</li> <li>• Instrumentación para medir la temperatura en superficies</li> </ul>	del aire que es una propiedad que nosotros sentimos.
6 HORAS	<p>6. VIENTO Y TRANSPORTE TURBULENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La capa de frontera</li> <li>• Capas de frontera externa e interna</li> <li>• Perfil logarítmico de la velocidad del viento</li> <li>• Parámetros del perfil: de rugosidad y de desplazamiento cero</li> <li>• Estabilidad atmosférica y el número de Richardson</li> <li>• La analogía de Reynolds</li> <li>• Relaciones del perfil del flujo del aire en condiciones de estabilidad no neutral</li> <li>• Mediciones de los parámetros de los perfiles de velocidad del viento</li> <li>• Velocidad del viento en el perfil del dosel de las plantas</li> <li>• El viento sobre cuerpos de agua libres</li> <li>• Patrones diarios del viento</li> <li>• Patrones estacionales de la dirección y velocidad del viento</li> <li>• Instrumentación para medir velocidad y dirección del viento</li> </ul>	Entender que el intercambio convectivo del calor sensible y el intercambio entre la superficie y la atmósfera requiere de la participación del viento y la turbulencia. Entender que la transferencia de momento horizontal es análogo en los procesos de transferencia de bióxido de carbono para la fotosíntesis y respiración, el vapor de agua en evapotranspiración, la transferencia del polvo, el polen , varios contaminantes y otros gases . Por lo tanto estos procesos pueden entenderse con el conocimiento de la estructura del perfil del viento en las capas de la atmósfera cercanas a la superficie del suelo.
6 HORAS	<p>7. HUMEDAD ATMOSFÉRICA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades físicas del vapor de agua</li> <li>• El concepto de saturación</li> <li>• La saturación basada en mediciones de humedad</li> <li>• Estructura de la humedad del aire</li> <li>• Perfiles de la presión de vapor</li> </ul>	Estudiar el comportamiento del vapor de agua sabiendo que el vapor de agua es el constituyente simple más importante de la atmósfera. Esto es debido a que las temperaturas terrestres el agua pasa fácilmente de





---

#### RECURSOS DIDÁCTICOS

---

El curso se imparte en forma teórica, de manera presencial en una aula , mediante la exposiciones de los temas de manera oral con la ayuda de una computadora y un proyector también se utiliza pizarrón apoyado con libros y manuales sobre el tema  
En cada tema se presentan ejemplos de problemas y su correspondiente solución se invita a los alumnos a que participen activamente en el planteamiento y solución de los problemas  
El afianzamiento de los conocimientos por los alumnos es mediante tareas extra-clase utilizando parcialmente programas de cómputo.

---

---

#### NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN

---

##### Normas de evaluación

Al final de cuatrimestre se calcula la calificación de cada alumno con la escala entre 0 a 10.0. La calificación mínima aprobatoria es de 8.0.

La calificación final se obtiene considerando las calificaciones:

de las tareas con un valor del 40 %

Dos exámenes parciales y uno final valor del 60 %

##### Procedimiento de evaluación

Se evalúa con la calificación que obtienen en las seis tareas extra clase con un valor de 40 % y la de 2 exámenes parciales con un valor del 30 % y un examen final con un valor de 30 %.

---

BIBLIOGRAFÍA IMPRESA O ELECTRÓNICA (AUTOR, AÑO, TÍTULO, EDITORIAL, FECHA, EDICIÓN)

1. Ayers, R.S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. Irrig. Drain. Pap 29, Rev. 1. FAO, Rome.
2. Boyer. J.S. 1985. Water transport. Annu. Rev. Physiol.36. p.p.473-516.
3. Campbell, G.S. G.W. Gee. 1986. Water potential: Miscellaneous methods. In A. Klute (ed). Methods of soil analysis. París 1. 2nd ed. Agronomy 9. p.p. 619-633.
4. Cassell, D.K. and A. Klute. 1986. Water potential: Tensiometry. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. París 1. 2nd ed. Agronomy 9. p.p. 563-596.
5. Irrigation of agricultural crops. 1990. Coeditors: Stewart, B.A. and D.R.Nielsen. 1990. Madison, Wis., American Society of Agronomy. Agronomy No.30. 1218p. 6. Jensen, M.E., W.R.Rangeley and P.J.Dielman. 1990. Irrigation trends in world Agriculture. Madison, Wis., American Society of Agronomy. Agronomy No.30. p.p.31-62.
7. James, L.G. 1993. principles of farm irrigation system design. Krieger Publ. Co., Malabar, Florida, USA. 543p.
8. Klocke, N.L., G.W. Hergert and R.Todd. 1986. Soil evaporation and evapotranspiration from fully, limited and non-irrigated corn. Chicago.
9. Klocke, N.L., D.F. Heermann and H.R. Duke. 1985. Measurement of evaporation and transpiration with lysimeters. Trans. ASAE 28. p.p. 183-189, 192.
10. Klepper, B. Root growth and water uptake. 1990. Madison, Wis., American Society of Agronomy. Agronomy No.30. p.p.281-306.
11. Lascano, R.J., J.L.Hatfield and C.H.M. van Bavel. 1986. Field calibration of neutron meters using a two-probe, gamma density gauge. Soil Sci. 141. p.p. 442-477.
12. Lascano, R.J. and C.H.M. van Bavel. 1986. Simulation and measurement of evaporation from a bare soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 50. p.p.11 27-11 32.
13. Lascano, R.J., C.H.M. van Bavel J.L. Hatfield and d.R. Upchurch. 1986. Energy and water balance of a sparse crop: Simulated and measured soil and crop evaporation. Soil Sci. Soc. Am. J. 51. p.p.1113-1121.
14. Lutgens, F. K. The atmosphere: an introduction to meteorology. 1986. Englewood Cliffs., N.J., Prentice Hall. 492p.
15. Martin, D.L., N.L. Klocke and D.L. DeHann. 1985. Measuring evaporation using minilysimeters. p.p.231-240. In Advances in evapotranspiration. Proc. Nati. Conf. on Advances in Evapotranspiration. Chicago.
16. McKinion, J.M. and A. Trent. 1986. Automation of a Class A evaporation pan. Trans. ASAE 28. p.p. 169-171.
17. Merva, G. and A. Fernandez. 1985. Simplified application of Penman's equation humid regions. Trans. ASAE 28. p.p. 819-825.
18. Monteith, J.L. 1985. Evaporation from land surfaces: Progress in analysis and prediction since 1948. In Advances in evapotranspiration. Proc. Nati. Conf. on Advances in evapotranspiration. Chicago. Westview Press, Boulder. CO.
19. Nobe, K. C. and R.K.Sampath (ed).1986. Irrigation management in developing countries. Westview Press, Boulder. CO.
20. Penman, H.L. 1956. Evaporation: An introductory survey. Neth. J. Agrie. Sci.,4. p.p.9-29.
21. Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. R. Soc. London Proc. Ser. A, 193. p.p. 120-145.



22. Persaud, N. and a.C. Chang. 1985. Time series analysis of daily solar radiation and air temperature measurements for use in computing potential evapotranspiration. *Trans ASAE* 28. p.p.462- 470.
23. Pruitt, W.O. and E.T. Lourence. 1985. Experiences in lysimetry for ET and surface drag measurements. In *Advances in evapotranspiration*. ASAE. p.p.51-69.
24. Power, J.W. 1986. Sharing irrigation know-how with developing countries. *Agrie. Eng.* 67(6).
25. Rangeley, W.R. 1987. Irrigation and drainage in the world. *Proc. Water and Water Policy in World Food Supplies Conf.*, College Station.
26. Rawlinds. S.L. and G.S. Campbell. 1986. Water potential: Thermocouple psychrometry. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy.* p.p. 597-618.
27. Reginato, R.J., R.D. Jackson and P.J. Pinter. 1985. Evapotranspiration calculated from remote multispectral and ground station meteorological data. *Remote Sens. Environ.* 18. p.p. 75-89.
28. Ritchie J.T. and B.S. Johnson. 1990. Soil and plant factors affecting evaporation. Madison, Wis., American Society of Agronomy. *Agronomy No.30.* p.p.363-387.
29. Ritchie, J.T. 1985. Evapotranspiration empiricisms for minimizing risk in rainfed agriculture. p.p. 139-150. In *Advances in evapotranspiration. Proc. Nati. Conf. on Advances in evapotranspiration.* Chicago.
30. Saeed, M. 1986. The estimation of evapotranspiration by some equations under hot and arid conditions. *Trans. ASAE* 29. p.p. 434-438.
31. Sammis, T.W., W. D. Smeal and C.E. Kallsen. 1986. Effect of soil moisture stress on leaf area index, evapotranspiration and modeled soil evaporation and transpiration. *Trans. ASAE* 29. p.p.956-961.
32. Samani, Z.A. and M. Pessarakii. 1986. Estimating potential crop evapotranspiration with minimum data in Arizona. *Trans. ASAE* 29. p.p. 522-524.
33. Sakuratani, T. 1987. Studies on evapotranspiration from crops. Separate estimation of transpiration and evapotranspiration from a soybean field without water shortage. *J. Agric. Meteorol. Soc.* 111. p.p. 839-850..
34. Shackel, K.A. 1987. Direct measurement of turgor and osmotic potential in individual epidemial cells. *Plant Physiol.* 83. p.p.719-722.
35. Schieff, U. 1986. Water uptake by barley roots as affected by the osmotic and matrix potential in the rhizosphere. *Plant Soil* 94. p.p. 143-146.
36. Shuttleworth, W.J. and J.S. Wallace. 1985. Evaporation from sparse crops - an energy combination theory. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 111.
37. Sinclair, T.R. 1990. Theoretical considerations in the description of evaporation and transpiration. Madison, Wis., American Society of Agronomy. *Agronomy No.30.* p.p. 343-360.
38. Sinclair, T.R. and M.M. Ludiow. 1985. Whotaught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential.
39. Tanner, C.B. 1968. Evaporation of water from plants and soil. p.p.73-106. In T.T. Koziowski (ed). *Water deficits and plant growth. Vol. 1. Academic Press, New York.*
40. Tanner, B.D., M.J. Tanner, W.A. Dugas, E.C. Campbell and B.L. Bland. 1985. Evaluation of an operational eddy correlation system for evapotranspiration measurements. In *Advances in evapotranspiration.* ASAE. p.p.87-89.

41. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38. p.p.55-94.
42. Waiker. W.R. and G.V. Skogerboe. 1987. *Theory and practice of surface irrigation.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N.J. 287p.
43. Wright.J.L. 1985. Evapotranspiration and irrigation water requirements. p.p. 105-113. In *Advances in evapotranspiration. Proc. Nati. Conf. on Advances in evapotranspiration.* Chicago.
44. Wronski, E.B.,J.W. Holmes and N.C. Turner. 1985. Phase and amplitude relations between transpiration, water potential and stem shrinkage. *Plant Cell Environ*, 8. p.p. 613-622.