

Nombre de la asignatura: Hidrometría

Créditos: 5

Objetivo de la asignatura

Formar a los estudiantes en saber utilizar y manejar los elementos de medida del agua en el ciclo hidrológico y en otras instalaciones construidas donde se miden el volumen y estado de un componente del agua en el ciclo hidrológico o en una instalación donde tiene un rol el caudal de agua. Profundizar el conocimiento sobre las condiciones asociadas al empleo de los dispositivos en el ejercicio de la profesión, Conocer, manejar, saber utilizar los instrumentos más comunes a fin de seleccionar y elegir ubicaciones para la medición y la obtención de datos pertinentes a los fines establecidos

Metodología de enseñanza

Teórico: 34 horas; *laboratorio: 16 horas; visitas de campo con informe: 10 horas*; Examen oral sobre el contenido del curso.

Derecho al examen: 80% de asistencia a los laboratorios, a las visitas de campo y presentación de informes sobre los mismos

Cada tema contiene una discusión de las características de objetivos y frecuencia de la medida, de la metodología empleada y del instrumento seleccionado de acuerdo a los fines de medición y la ubicación del emplazamiento o sección, junto con las ventajas, limitaciones y errores asociados.

Se pone a disposición de los estudiantes un cdrom con bibliografía principal y suplementaria en formato electrónico, disponibles en la internet.

Se señala la bibliografía principal, también la complementaria y anexos con referencias donde encontrarlas por tema y por conceptos. Luego de las clases se pondrán a disposición de los estudiantes las exposiciones hechas en las mismas. La última clase es de resumen y revisión. El plan de clases, laboratorios y visitas está en el Anexo I, luego de la bibliografía.

En el laboratorio se hacen ejercicios de medida, siguiendo experiencias clásicas existentes, con toma de datos y cálculo, con comparación de resultados, cuando es el caso de disponer de distintos parámetros, Se utilizarán para montar las experiencias de laboratorios las facilidades y dispositivos existentes en el instituto y en otros servicios con los que se mantienen relaciones. Se señalan alternativas de laboratorio en caso de existir dificultades de ejecución o por adaptación didáctica al grupo.

La bibliografía principal se marca específicamente y es la citada para la introducción (tema 1). La literatura citada contiene las fórmulas que describen el comportamiento de dispositivos, con valores propuestos para los parámetros de ajuste a la geometría y otras condiciones. En la bibliografía hay ejemplos y elementos para ejercicios de cálculo como referencia.

Dictado de hasta 4 horas por semana, 2 clases. Los laboratorios se harán semana por medio aproximadamente (*2 horas de duración aproximada salvo el laboratorio sobre caudales*). Los estudiantes entregarán informes sobre los laboratorios y visitas realizados. Las visitas se harán a partir de la mitad del semestre.

Temario

Tema 1 Introducción.

- introducción a la hidrometría:

1 clase (2 horas, 1era clase)

Tema 2 Pluviometría

- pluviómetros manuales o electrónicos. Frecuencia de lectura
- pluviógrafos mecánicos y electrónicos. Medidas en plantaciones forestales: bajo las copas, medidas de escurrimiento fustal.. Otros métodos de determinación: percepción remota por radar, etc
- Simuladores de lluvia, Muestreos de agua de lluvia (aerosoles, lluvia ácida, etc)
- Algunas Normativas y reglamentaciones (OMM, etc; diagrama de flujo de decisiones de ubicación, de selección de equipos y de diseño de redes. Selección de sitio y metodología en función de la cuenca y su tamaño. Parámetros de ubicación respecto otras instalaciones, incidencia de viento, interferencias por obstáculos. Errores significativos: corrección por viento, errores debidas a intensidad de lluvia.)

2 clases (4 horas, 2da y 3era clases)

Laboratorio (5ta clase), empleo de lluvia artificial para la calibración y comparación de pluviómetros no registradores de distinto tipo, (alternativa calibración de pluviografos digitales o mecánicos – de tipo por pesada o por cangilones o sifón—de acuerdo a intensidades de lluvia diferentes)

Tema 3 Caudales

- Medidas de niveles y conversión en caudales. Forma de la ecuación altura caudal para distintos dispositivos de medición. Frecuencia de medida. Selección de sitios
 - vertederos delgados en canales o embalses.
 - canales estrangulados venturi o parshalls
 - parcelas de escurrimiento para medir caudales
 - métodos de aforo con correntómetro y medida de caudal, relación del aforo con colocación de escalas.
 - Metodo de Área y pendiente para obtención de curvas de aforo. Medidas con 2 limnigrafos
 - Medidas de máximos de crecida. Errores en crecida y en descenso. Sensibilidad de la medida. Uso de Modelos a escala para calibración de aparatos de medida
 - empleo de modelación numérica y estimaciones para obtener una curva de aforo teórica
 - desarrollo elemental para la medida de caudal por inyección constante de trazadores químicos. Indicación de las posibilidades y limitaciones de usar otros tipos de trazadores
 - proceso de decisión para selección de un dispositivo. Limitaciones en las medidas, en los sensores (boya, presión, burbujeo) y los métodos.. Errores significativos en las medidas
- 4 clases (8 horas, 4ta, 6ta, 7ma y 9na. clases)*

Laboratorios:

(8ta clase) toma de datos de flujos en canal con vertederos de distinto tipo y uso en cálculo, comparación de resultados empleando distintos valores de parámetros para los vertederos, y establecimiento de la curva altura – caudal con vertederos de pared delgada. Se encuentran

valores de parámetros para cálculo en varias referencias (alternativa: establecimiento de la curva altura caudal de un medidor de altura de carga por burbujeo armado en laboratorio) (11ava clase, 4 horas) medidas de flujos en canal con estrangulamiento y comparación de resultados de cálculo tomando valores de parámetros apropiados para las fórmulas de cálculo (Alternativa a de experiencia: establecimiento de la curva altura – caudal de una instalación con estrangulamiento de flujo –Crump, Venturi-; Alternativa b de experiencia: medidas de caudal por inyección de flujo constante de trazador conservativo–sal- utilizando medidas de conductividad para medir concentración).

Tema 4 Evapotranspiración

- equipamiento y medidas requeridas por ETP (temperatura máxima, mínima, seca, húmeda, insolación, viento, humedad relativa); instrumentos en estaciones agronómicas y en una estación meteorológica; tanque A

- lisímetros, microlisímetros para medidas de ETP

- limitaciones de las medidas. Errores significativos asociados a las metodologías.

1 clases (10ma clase), 2 horas

Laboratorios

(14ª Clases): ejercicio de balance ETP con un lisímetro o microlisímetro de Agronomía (Alternativa: medidas con lisímetro de maceta y pesada)

Tema 5 Humedad en los Horizontes de suelo, medidas piezométricos de napa

- objetivos de la medida, Frecuencia de medida.

- métodos gravimétricos

- tensiómetros, determinación de la curva succión-contenido de humedad de un suelo.

Fórmulas MGAP de humedad en función de la composición del suelo

- medidas de humedad por resistencia en yesos, otros métodos de medida de humedad (sonda de neutrones, posibilidades de evaluación de la humedad con la percepción remota basada en la interpretación de canales de información, p.ejemplo índice de vegetación

- elementos de diseño de redes de monitoreo de humedad

- velocidad de infiltración (anillos, pozos de infiltración)

- Balance y medidas periódicas de estratos en el suelo. Elementos de diseño de redes de medida

- limitaciones de las medidas. Errores significativos: calidad del contacto con el suelo, suelos muy secos.

3 clases (12ava, 13ava y 15ava clases), 6 horas

(17ava clase): medidas con tensiómetros de copa, tensiómetro portátil, medidas de velocidad de infiltración con anillo infiltrométrico, medidas gravimétricas de humedad; observación de "ollas de presión" –en las que se determinan las curvas humedad vs. succión- en el Laboratorio

Laboratorios de Suelos y Aguas MGAP (Alternativas: a) Realización y calibración por pesada de un medidor de yeso, medidas de nivel piezométrico por cierre de circuito eléctrico. Medición de conductividad hidráulica en Pozos; Alternativa b) Revisión de ejemplos y de curvas de suelo generales empleando el software "Retcode" (Van Gemuchten, US Saline Laboratory)

Tema 6 Medida de Sedimentos generados por erosión

- muestreo directo: Frecuencias de muestreo apropiadas
- empleo de parcelas de escurrimiento para estimación de erosión; uso de simuladores de lluvia para estimación de erosión
- Recolección puntual de cargas de fondo por trampas. Tipos de sedimentos en suspensión, depositado, moviéndose cerca del fondo, torres recolectora en columna
- medidas por turbidez y relacionamiento con medidas gravimétricas
- limitaciones de las medidas. Errores significativos.

2 clases (16ava y 18ava clases) , 4 horas

Laboratorios (19ava clase): muestreo directo de sedimentos y gravimetría, (alternativa: medidas en microparcels de escurrimiento con lluvia artificial).

Tema 7 Sistemas de toma de medidas. Consideraciones generales,

Estaciones de toma de medidas, medida de elementos del ciclo del agua de acuerdo a los fines de la toma de datos, frecuencia de medida, escalas de espacio. Caso de Datos en tiempo real. Redes de estaciones. Diseños experimentales. Revisión de condiciones para las ubicaciones de los equipos según objetivos, según las escalas temporal y escala espacial, diagramas de decisión de diseño (estructura y operación)

- Medidas y determinación de aforo en vertederos y canales para instalaciones reales, empleando modelos físicos basados en la Similitud Dinámica

- limitaciones de los sistemas. Errores Formas de extender las medidas

3 clases (20ava, 21ava y 22ava), 6 horas

Laboratorio

(23ava): Establecer una curva altura caudal con medidas de aforo en perfil y en profundidad en canal con empleo de correntómetros. Comparación de los datos recolectados con resultados empleando parámetros propuestos en la literatura. Alternativa : Ejercicio de uso de la similitud para medir en modelo físico y trasponer posteriormente la curva de aforo a otra escala.

Visitas de campo

2 Visitas a estaciones experimentales e instalaciones de medida Observación de Medidas en equipamiento instalados y estructuras de medida (alternativas: Facultad de Agronomía, Centro Sayago, Centro Sur, Servicio de Suelos y Aguas MGAP, Av. Garzón, Sistema Aguas Blancas en Lavalleja), (clases 24ava y 25ava), informe de visita a entregar sobre los *dispositivos y medidas observados* (alternativa: *establecimiento de curvas altura caudal* a partir de una experiencia alternativa de laboratorio no realizada). 10 horas

Clase (26ava) de revisión y consulta general

Bibliografía

Básica:

- Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base, 1991. Thebe et al. Laboratoire d'Hydrologie, Montpellier, France. Curso en Bucarest 1996 a 1998. ISBN 973 - 98981 -1-7 (disponible en internet)
- Applied hydrology for technicians, International Hydrological Programme. vol II Unesco Paris 1994. SC-94/WS.26
- Field Manual for research in Agricultural Hydrology, Brakensiek, Osborn and Rawls. USDA, Agriculture Handbook.224, 1979 Estados Unidos
- Water Measurement Manual, 2001, 317 pp. US Dpt. of the Interior, Bureau of Reclamation, USDA. A Guide to effective water measurement practice for better water management (disponible en internet)

Contenido del CDROM para los alumnos de "Hidrometría", con el titulo de los archivos presentes

- Libro Bureau of Reclamation, USA. archivo "hidroWMM_3rd_2001"
- Libro Francés, Laboratorio de Montpellier, archivo "fr1start" y páginas web conexas "Charte-fr", para recorrer el libro
- Libro Inglés Wallingford, archivo "UK_IH105_INSTRUMENTATION_OF_FLAT_CATCHMENTS"
- Libro australiano, archivo "austracuencatechnical200106"
- Libro malayo de hidrologia, archivo "Manualhydrology"
- Libro Estados Unidos, archivo "GoodwinCreek"
- Libros USGS Estados Unidos: "Flumes TWRI_3-A14", "Gaugstreamtwri_3-A6_a", "Indirectgaugwri_3_A1_a"
- Software Winflume (diciembre 2005) para diseño de aforadores de garganta larga (USDA - Wageningen, USA - Holanda)
- Ret Code, software de libre acceso para la modelación de humedad en el suelo y de la estructura del suelo, Van Gemuchten, Saline Laboratory, USA

Complementaria

- Aguas Residuales, Medida y automatización, 1era. edición, 1993 Endress+Hauser International Holding AG, Reinacht, Suiza
- Análisis Hidráulico-Hidrológico del Bañado de Carrasco, Anido et al 2002.(ajuste de coeficiente de Manning empleando Hec Ras)
- Artificial radioisotopes in Hydrological Investigation, Plata-Bedmar, pág. 35-38 IAEA Bulletin 1/1988
- Curso de Riego y Drenaje, Guias de Clase, Unidad de Hidrología, Dpto de Suelos y Aguas Facultad de Agronomía, UdelaR, 2004
- Cursos dictados relacionados a funcionamiento de canales.
- Cómo construir una estación meteorológica. El Correo de la Unesco. Agosto-setiembre 1973
- Evapotranspiration Studies, Uruguay. J. Henry. Serial 2936/RMO.RD/SCE, París, Julio 1973. UNESCO
- Física de Suelos, Principios y Aplicaciones. Sampat Gavande, 1976. Ed. LIMUSA, México
- Física de Suelos, Manual de Laboratorio, Warren Forsythe, IICA, AID, OEA, 1975, Costa Rica
- ISO 1438 1975. Liquid Flow Measurement in open channel using weirs an flumes. Geneva
- ISO Handbook 15, 1983. Measurement of liquid flow in open channels, Geneva
- ISO 5167 -1 1991. Measurement of flow by means of pressure differential Devices. Geneva
- Hidráulica general, vol I fundamentos. Gilberto Sotelo Avila, Ed. LIMUSA, 1982 México

- Hydraulic Structures, Novak, Narayan et al.. Unwin Hyman, London 1989 Elementos del Ciclo Hidrológico: Memoria explicativa Carta Hidrogeológica, 1986, Ministerio de Industria y Energía DINAMIGE, Montevideo
- Hydrometry, Theory and Practice of Hydraulic Measurements, Adam Troskolanski, Technical University, Wroclaw. Poland, 1960. 684 páginas Pergamon Press
- Métodos para la Recopilación e interpretación de datos sobre aguas subterráneas, Bentall, Geological Survey US Dpt. of the Interior, 1968 AID México
- Ret Code, software de libre acceso para la modelación de humedad en el suelo y la estructura del suelo, Van Genuchten, Saline Laboratory, USA
- *Software Winflume (2005) para diseño de aforadores de garganta larga (USDA - Wageningen, USA - Holanda)*

Conocimientos previos: Hidrología aplicada

(modificaciones sucesivas a la propuesta diciembre 2003: febrero 2004, , Marzo 2004, Abril 2004-04-28, Junio 2004, julio 2005, versión final set, 2005, Febrero de 2006, Marxo 2006-03-22, setiembre 22 2006)

Anexo I de plan de horas de curso

- Clase 1 Tema 1 horas 2
- Clase 2 Tema 2 horas 2
- Clase 3 Tema 2 horas 2
- Clase 4 Tema 3 horas 2
- Laboratorio clase 5 tema 2 horas
- Clase 6 Tema 3 horas 2
- Clase 7 Tema 3 horas 2
- Laboratorio clase 8 tema 3 horas 2
- Clase 9 Tema 3 horas 2
- Clase 10 Tema 4 horas 2
- Laboratorio clase 11 tema 3 horas 4
- Clase 12 Tema 5 horas 2
- Clase 13 Tema 5 horas 2
- Laboratorio clase 14 tema 4 horas 2
- Clase 15 Tema 5 horas 2
- Clase 16 Tema 6 horas 2
- Laboratorio clase 17 tema 4 horas 2
- Clase 18 Tema 6 horas 2
- Laboratorio clase 19 tema 6 horas 2
- Clase 20 Tema 7 horas 2
- Clase 21 Tema 7 horas 2
- Clase 22 Tema 7 horas 2
- Laboratorio clase 23 tema 7 horas 2
- Visita clase 24 horas 5
- Visita clase 25 horas 5
- Clase Resumen y Revisión general clase 26 horas 2

Anexo II de referencias bibliográficas sobre ilustraciones, figuras y esquemas correspondientes a cada tema del curso

Tema 1 Introducción a la hidrometría

- Acquisition et constitution d'une information hydrologique de base, 1991. Thebe et al. Laboratoire d'Hydrologie, Montpellier, France. Curso en Bucarest 1996 a 1998. ISBN 973-98981-1-7 (disponible en internet)
- Field Manual for Research in Agricultural Hydrology, USDA
- Medidas y automatización, aguas residuales, Endress+Hauser
- Applied hydrology for technicians, UNESCO
- Water Measurement Manual, 2001, 317 pp. US Dpt. of the Interior, Bureau of Reclamation, USDA. A Guide to effective water measurement practice for better water management (disponible en internet)

Tema 2 Pluviometría

- Manual de hidrometría del "Bureau of Reclamation", USA
- Curso del Laboratoire de Hydrologie, Hydrométrie, Field Manual, Cap I, p.3 – p.73
- Applied hydrology for technicians, UNESCO p.4.6 – p.4.13
- Endress+Hauser, Tecnología de medición p.8-9

Tema 3 Caudales

- Applied hydrology for technicians, UNESCO p.5-10 – 5.43
- Curso del Laboratoire de Hydrologie, Hydrométrie
- Manual de hidrometría del "Bureau of Reclamation", USA
- Endress+Hauser, Cap. V p.9 – p.100. Esclusa sumergida, p.89, fig. 45 (p.90). Medición de Nivel, p.120, 121, 122, 123
- Medidas en vertederos: Endress+Hauser, p.77- 88
- Sotelo, p. 136. Dispositivos de medición y aforo. Fig. 4.15
- Sotelo, Molinete y rotámetro, p. 137 a 138. Vertederos p.243, fig. 2.2, triangular p.251, trapezoidal p.255; rectangular: p.453, fig. 7.3, 7.4. Ecuación de gasto 7.5. Tabla 7.1, p. 246, tabla 7.1, p.246; tabla 7.2, p.252. Ecuaciones 7.11.a, 7.11.b
- Hec-Ras aplicado a cursos de agua; referencia: Análisis Hidráulico – hidrológico del Bañado de Carrasco
- Medidas de caudales: Cap. 2 Endress+Hauser, p.120 – p.145
- Laboratorio: Desarrollo del caso de la medida de caudal por inyección constante o en bloque de un trazador, especialmente sal (Applied Hydrology Unesco UNESCO, p 5.27, también hay generalidades en el artículo Artificial Radioisotopes in Hydrological Investigation)
- instalación con estrangulamiento de flujo –Crump, Venturi, Endress+Hauser p.89- 100.
- Aparecen valores de parámetros para fórmulas de vertederos en la obra de Sotelo
- Software Winflume (2005) para diseño de aforadores de garganta larga (USDA - Wageningen, USA – Holanda)

Tema 4 evapotranspiración

- Física de Suelos (Gavande) cap. 10
- Field Manual, capítulo "Climate", p.217 – p.236
- Física de Suelos, Cap. 10, p.233 – p.243

Tema 5 Humedad en el suelo y en los Horizontes de suelo, medidas piezométricos de napa

- Field Manual 519 – 525

*Física de Suelos p.157 – p.198 ("almacenamiento de agua en el suelo"). Cap.12, p.157
Cuadro 8.1, p.185, Cuadro 8.2, p. 192. Lisímetro, p.186
Física de Suelos Forsythe, curva humedad-succión: cap.11: p.137, fig 11.1, cuestionario p.
153. Cap. 3 p.17; cap. 9, p.97, 99. Fig.9.2, p.104: cuestionario p.115
Field Manual p.442 – p.471:piezometría de napas
diseño de redes: (Field Manual USDA p.443, p.444)*

Tema 6 Sedimentos generados por erosión

*Endress+Hauser, cap 5, p.201 – p.206
Field Manual cap.4,Sedimentation, p.242 – p.391
Applied Hydrology for Technicians, UNESCO p.5.78 – p.5.87*

Tema 7 Sistemas y conjuntos de toma de medidas Consideraciones generales,

*Applied Hydrology for Technicians, UNESCO vol II, p.4.4, p.5.1 – p.5.11. El concepto de red
de medida, vol III, p.8.7. Disciplinas relacionadas vol.II. p.1.3; p. 1.2, técnicas de hidrología
p.1.4*

Curso del Laboratoire de Hydrologie, Hydrométrie

Endress+Hauser, VI Reglamentaciones Europeas de protección, p.229 – p.234

Manual de hidrometría del "Bureau of Reclamation", USA

Similitud para medir en modelos a escala: Sotelo p.183 – 197, apéndice 4

Anexo III de ubicación por concepto de figuras, esquemas e ilustraciones considerados útiles para la comprensión de conceptos relacionados al curso en referencias bibliográficas USDA, "Field Manual for Research in Agricultural Hydrology"

Lluvia

*Pantallas y Cercas p.7, modelos de pluviómetros p.14, pluviografo por pesada p.17,
pluviometro de calidad de aguas, p.35.*

Escurrimiento

*Diagrama de flujo Guia para seleccionar medidos de escurrimiento p.79 a p.81, vertedero
triangular en campo p.82, Venturi y Parshall p.100, Alcantarillas p.106, vertederos H p.124,
medidas en puentes p.135, Estación de medida de escurrimiento p.149, correntómetro p.150,
medidor de nivel por flotador p.165, Medidas de velocidad en sección para determinar el
flujo p.173,*

Clima

Diagrama de una estación, p.218, termómetros de minima p.219

Sedimentación

*Componentes del sedimento p.243, esquemas de parcelas de escurrimiento y divisores p.246,
muestreador de disco p.250, vertedero y muestreador p.251, muestreador integrador de
sedimentos suspendidos en corriente p.254, perfiles de flujo y de concentración de sedimentos
p.255, recolectores de sedimentos de fondo p.258, muestreador manual de sedimentos p.259,
gruas para medidores de flujo y sedimentos p.260, p.261, baterías de recolectores de
sedimentos suspendidos según profundidad p.267, Extractor periódico de muestras de
sedimento en suspensión p.270, p.271, medida de densidad de sedimentos por rayos gamma
p.277, Factores de la erosión del suelo y sus movimientos p.335, gráfica de evolución de
sedimentos en suspensión para una tormenta debil y para fuertes, p.353, p.354, algunas
formulas de descarga de sedimento p.364*

Endress+Hauser

Medición de Caudal en canales abiertos, p.70 (fig. 3.2), Vertederos de pared delgada, cámara de medición, p.77 (fig.36), p.88 (fig.44), vertedero triangular, p.78 (fig.37), esclusa Crump p.89 (fig. 45) canal Venturi, p.90, p.91 (fig. 46), p.92 (fig.47), p.93 (fig. 47), p.94 (tabla 48), canales Khafagi p.95 (fig. 49, 50, 51, 52, 53, tabla 54). Medición en canales cerrados p.101

Applied Hydrology for Technicians, UNESCO (Vol II)

Sitios de observación meteorológica, p.4.4 – p.11, Termohigrografo p.4.18; Estaciones de control en cursos de agua p.5.1, perfiles de velocidad en cauce p.5.3, perfil de energía y piezométrico en un canal inclinado p.5.5, relación entre número de Froude y tirante crítico en la medida p.5.7 – p. 5.8, diagrama de estaciones de control en cauce p.5.11, controles naturales en un cauce p.5.13, diagrama de estación de medida de niveles en cauce por flotador p.5.17, diagrama de correntómetro p.5.19; ilustración del método de determinación del flujo por perfiles verticales en sección p.5.21.

Método de la dilución o titración por sal para estimar flujo p.5.27.

Vertederos de pared delgada. p.5.31, diagrama de la esclusa Crump p.5.32, diagrama de medidores de caudal por estrangulamiento de sección rectangular y otros p.5.35; p.5.36, Medidas de caudales por otros métodos como medios electromagnéticos y otros p.5.39 a 5.4

Aprobado por Res. Consejo 21.12.2006. Exp: 060100-000507-06