

### PROGRAMA DE CURSO

| Código  | Nombre               |                  |   |                           |
|---|----------------------|------------------|---|---------------------------|
| GL5213  | <b>HIDROGEOLOGÍA</b> |                  |   |                           |
| Nombre en Inglés  |                      |                  |   |                           |
| Hydrogeology  |                      |                  |   |                           |
| SCT   | Unidades Docentes    | Horas de Cátedra | Horas Docencia Auxiliar                 | Horas de Trabajo Personal |
| 6   | 10                   | 2                | 3                                       | 5                         |
| Requisitos  |                      |                  | Carácter del Curso                      |                           |
| GL5102 Sedimentología   |                      |                  | Obligatorio para la carrera de Geología |                           |
| Resultados de Aprendizaje   |                      |                  |   |                           |
| <p>El estudiante demuestra que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplica y analiza técnicas de evaluación de manejo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos para asegurar el desarrollo sustentable de la explotación y su protección.</li> <li>• Evalúa fuentes de contaminación del recurso hídrico y desarrolla estrategias de control, tratamiento y remediación.</li> </ul> |                      |                  |   |                           |

| Metodología Docente   | Evaluación General   |
|---|--|
| <p>La estrategia metodológica a ser desarrollada incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clases expositivas (con actividades de los alumnos en el aula), análisis de casos, modelación geoquímica con MEDUSA y PHREEQC.</li> <li>• Trabajo práctico en laboratorio.</li> <li>• Trabajo en Grupo (3 personas) de un caso a lo largo del semestre que integra todos los conceptos y cada grupo presentará en forma oral en un workshop al final del semestre</li> <li>• Salidas a terreno.</li> </ul> | <p>Las instancias de evaluación son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un control durante el semestre y un trabajo y una presentación oral integrativo al final.</li> </ul> |

### Unidades Temáticas

| Número   | Nombre de la Unidad   | Duración en Semanas  |
|--|---|--|
| 1  | INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS  | 2  |
| Contenidos   | Resultados de Aprendizajes de la Unidad   | Referencias a la Bibliografía  |
| 1.1 Concepto de hidrogeología; objetivos y métodos de estudio; relación con otras ciencias y técnicas; hidrogeología y medio ambiente.<br>1.2 El ciclo hidrológico; el agua en la naturaleza: balances globales y continentales; usos y utilidades, sustentabilidad.<br>1.3 Flujo en diferentes tipos de unidades rocosas<br>1.4 Tipos de acuíferos: zonación vertical de un acuífero, zonación horizontal; concepto de permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y difusividad hidráulica; acuíferos libre, confinado, semi-confinado y multicapa. | El estudiante demuestra que:<br>1. Identifica unidades geológicas que pueden almacenar y permitir el movimiento de aguas subterráneas (acuífero) o los que inhiben. | (1) Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983).<br><br>(1) Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega, 2350 pp. |

| Número   | Nombre de la Unidad   | Duración en Semanas   |
|--|---|---|
| 2  | COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO   | 2   |
| Contenidos   | Resultados de Aprendizajes de la Unidad   | Referencias a la Bibliografía   |
| 2.1 Conceptos hidrometeorológicos básicos; Las precipitaciones; La evaporación y transpiración; albedo, la evo-transpiración potencial y real; balance de agua en el suelo, propiedades del suelo.<br>2.2 Escorrentía y cuenca vertiente; los aforos; estimación de escorrentía de una cuenca.<br>2.3 Infiltración; factores condicionantes; proceso de infiltración; métodos de estimación y medida; importancia de zona no saturada. | El estudiante demuestra que:<br>1. Aplica conceptos básicos del ciclo hidrológico para inferir los componentes del ciclo hidrológico. | (1) Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983). Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega, 2350 pp.<br>(2) Martínez, J. y Ruano, P. (1998) Aguas Subterráneas. Captación y Aprovechamiento. Progensa, 404 pp. |

| Número  | Nombre de la Unidad  | Duración en Semanas  |
|---|--|--|
| 3   | HIDRÁULICA SUBTERRÁNEA   | 3  |
| Contenidos  | Resultados de Aprendizajes de la Unidad  | Referencias a la Bibliografía  |
| <p>3.1 Nivel Piezométrico y piezometría de un acuífero; fluctuación piezométrico y sus causas; regímenes laminar y turbulento.</p> <p>3.2 La ley de Darcy; métodos de estimación y medida de permeabilidad; métodos de laboratorio; métodos de terreno; fórmulas empíricas.</p> <p>3.3 Ecuación general del flujo subterráneo; Pozo en los diferentes tipos de acuíferos</p> <p>3.4 Las pruebas de bombeo: realización práctica; caudal específico y transmisividad; eficiencia y curva estadística de un sondeo.</p> | <p>El estudiante demuestra que:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Explica las leyes que rigen la circulación y almacenamiento de aguas en el subsuelo.</li> </ol> | <p>(1) Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983) .- Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega, 2350 pp.</p> <p>(2) Martinez, J. y Ruano, P. (1998) Aguas Subterráneas. Captacion y Aprovechamiento. Progensa, 404 pp.</p> |

| Número   | Nombre de la Unidad  | Duración en Semanas  |
|--|--|--|
| 4  | HIDROGEOQUÍMICA Y CONTAMINACIÓN  | 6  |
| Contenidos   | Resultados de Aprendizajes de la Unidad  | Referencias a la Bibliografía  |
| <p>4.1 Hidrogeoquímica; la molécula de agua; principales propiedades del agua; constituyentes mayoritarios y trazas de las aguas y su análisis en terreno como en el laboratorio (Visita del laboratorio geoquímico)</p> <p>4.2 Especiación, oxidación-reducción-disolución; actividad, solubilidad; reacciones de equilibrio, la constante de Equilibrium, intercambios iónicos; sorción. Los diagramas de pH-Eh y el rol de la especiación en la movilidad y toxicidad de los elementos. El sistema de los carbonatos y su especiación. Introducción en el Modelo de Equilibrium MEDUSA y PHREEQC</p> <p>4.3 Las aguas termales y minerales-medicinales; características; clasificación; origen; el sistema hidrogeotérmico; tipos; importancia económica.</p> <p>4.4 Calidad de las aguas subterráneas; los índices de calidad; potabilidad; aspectos legales; calidad para el uso en agricultura; calidad para uso industrial.</p> <p>4.5 Contaminación; mecanismos de liberación, movilización y retención de los elementos en la zona no-saturada y la zona saturada. Análisis de diferentes fuentes de contaminación en el valle Central.</p> | <p>El estudiante demuestra que:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplica las técnicas adecuadas para el muestreo de agua y su análisis con el debido control de calidad.</li> <li>2. Identifica y clasifica la calidad de aguas para usos determinados.</li> <li>3. Analiza los procesos que controlan la movilidad y toxicidad y biodisponibilidad de los elementos. Puede predecir el comportamiento geoquímico de los elementos aplicando modelos de equilibrio geoquímicos (MEDUSA y PHREEQC)</li> <li>4. Evalúa fuentes de contaminación del recurso hídrico y desarrolla estrategias de control, tratamiento y remediación.</li> </ol> | <p>(4) Langmuir, D., 1997. Aqueous environmental geochemistry. Prentice Hall, 600 pp.</p> <p>(3) Stumm, W. and Morgan, J.J., 1996. Aquatic chemistry. Wiley, New York, 1022 pp.</p> <p>(5) Appelo, C. y D. Postma (1993).- Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema, 536 pp.</p> <p>(6) Merkel, B.J., Planer-Friedrich, B. (2005). Groundwater Geochemistry. Springer, 200 pp.</p> <p>(11) Parkhurst, D. L.; Appelo, C. A. J. <i>User's guide to PHREEQC (Version 2)</i></p> |

| Número   | Nombre de la Unidad   | Duración en Semanas  |
|--|---|--|
| 5  | ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS Y TÉCNICAS AUXILIARES  | 1.5  |
| Contenidos   | Resultados de Aprendizajes de la Unidad   | Referencias a la Bibliografía  |
| <p>5.1 Inventario de puntos acuíferos; cartografía hidrogeológica; recursos y reservas; funcionamiento de acuíferos; el balance.</p> <p>5.2 Prospección geofísica: métodos eléctricos.</p> <p>5.3 Métodos sísmicos; sísmica de reflexión; sísmica de refracción; otros métodos de interés.</p> <p>6 Los trazadores e isótopos en hidrogeología; los isótopos estables en aguas subterráneas; radioisótopos en aguas subterráneas; aplicaciones de los isótopos para estudios hidrogeológicos.</p> <p>7 Sondajes: perforación por: percusión, rotación, roto-percusión; comparación entre los distintos métodos.</p> <p>8 Piezómetros y pozos: entubación, ranurado y cementación; empaque de gravas; desarrollo de sondajes de captación; principales métodos; ventajas e inconvenientes.</p> <p>9 Gestión de sustentable de acuíferos y protección de zonas húmedas; problemática general; aspectos legales y compromisos administrativos</p> <p>10 Los acuíferos costeros; el contacto agua dulce-agua salada; intrusión marina; explotación de acuíferos costeros; medidas preventivas y control.</p> | <p>El estudiante demuestra que:</p> <p>1. Selecciona las técnicas adecuadas para la exploración y explotación de aguas subterráneas y estudios hidrogeológicos.</p> | <p>(7) Clark, I. y P. Fritz (1997).- Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC PRes, 350 pp.</p> <p>(8) Mook, W.G. (Ed.) 2002. Isótopos Ambientales en el ciclo hidrológico. IGME. Madrid. 596 pp.</p> <p>(2) Martínez, J. y Ruano, P. (1998) Aguas Subterráneas. Captación y Aprovechamiento. Progensa, 404 pp.</p> |

| Número  | Nombre de la Unidad  | Duración en Semanas                                   |
|---|--|---|
| 6   | MARCO LEGAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE  | 0.5   |
| Contenidos  | Resultados de Aprendizajes de la Unidad  | Referencias a la Bibliografía                         |
| 6.1 El organismo competente legalmente<br>6.2 Dirección General de Aguas: reparticiones, atribuciones.<br>6.3 Código de Aguas e instrumentos legales complementarios.<br>6.4 Adquisición del derecho de aprovechamiento: Aguas superficiales, subterráneas, servidumbres e hipotecas.<br>6.5 Procedimientos: administrativos, técnicos, judiciales. | El estudiante: <ul style="list-style-type: none"> <li>Reconoce el marco legal y administrativo que rige los recursos hídricos en el país.</li> </ul> | (9) D.S. N°90 de 2001.<br><br>(10) D.S. N°46 de 2003. |

| Bibliografía  |
|---|
| <p><u>Hidrología Superficial</u></p> <p>(1) Custodio, E. y M. R. Llamas (Eds.) (1983) .- Hidrología Subterránea. (2 tomos). Omega, 2350 pp.</p> <p>(2) Martínez, J. y Ruano, P. (1998) Aguas Subterráneas. Captación y Aprovechamiento. Progensa, 404 pp.</p> <p>(3) Stumm, W. and Morgan, J.J., 1996. Aquatic chemistry. Wiley, New York, 1022 pp-</p> <p>(4) Langmuir, D. (1997).- Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice-Hall, 600 pp.</p> <p>(5) Appelo, C. y D. Postma (1993).- Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema, 536 pp.</p> <p>(6) Merkel, B.J., Planer-Friedrich, B. (2005).- Groundwater Geochemistry. Springer, 200 pp.</p> <p>(7) Clark, I. y P. Fritz (1997).- Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC PRes, 350 pp.</p> <p>(8) Mook, W.G. (Ed.) 2002. Isótopos Ambientales en el ciclo hidrológico. IGME. Madrid. 596 pp.</p> <p>(9) D.S. N°46 de 2003 Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas.</p> <p>(10) D.S. N°90 de 2001 Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.</p> <p>(11) Parkhurst, D. L.; Appelo, C. A. J. <i>User's guide to PHREEQC (Version 2) - a computer program for speciation, batchreaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations</i>. U.S. Geological Survey: Denver, CO, 1999.</p> |

|                 |   |
|-----------------|---|
| Vigencia desde: | Primavera 2011  |
| Elaborado por:  | Bernhard Dold   |
| Revisado por:   | Jefe Docente: Víctor Maksaev<br>Área de Desarrollo Docente(ADD) |